МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физический факультет

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Введение в физику полупроводников (2 курс)

Кафедра *«Инженерная физика»*

Образовательная программа
11.03.04 - Электроника и наноэлектроника

Профиль подготовки
Микроэлектроника и твердотельная электроника

Уровень высшего образования
бакалавриат

Форма обучения
очная

Статус дисциплины: *вариативная*

Махачкала - 2018

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки11.04.04 - Электроника и наноэлектроника, профиль подготовки: физика полупроводников и диэлектриков (уровень: магистратуры) – Приказ Минобрнауки России от 30.10.2014 № 1407.

Разработчик(и): кафедра *инженерной физики*, Офицерова Н.В., к.ф.-м.н., доцент.

Рабочая программа дисциплины одобрена:
на заседании кафедры *Инженерная физика* от «25» 06 2018 г., протокол № *1а*

Зав. кафедрой _____ Садыков С.А.

на заседании Методической комиссии *физического* факультета от «29» 06 2018 г., протокол № 11.
Председатель _____ Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением «02» 07 2018 г. _____
(подпись)

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина ***Введение в физику полупроводников*** входит в *вариативную часть (дисциплина по выбору)* образовательной программы бакалавриата по направлению (специальности) ***11.03.04 Электроника и наноэлектроника***.

Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой инженерной физики.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с проблемами современной физики полупроводников, а именно, изучает основы зонной теории равновесные и неравновесные носители заряда, кинетические и оптические явления в полупроводниках.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: профессиональных – ПК-3;

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: *лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов*.

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме *тестирования, письменной контрольной работы* и промежуточный контроль в форме *зачета*.

Объем дисциплины *2* зачетные единицы, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

Семестр	Учебные занятия								Форма промежуточной аттестации (зачет, диф.зачет, экзамен)
	в том числе								
	Всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем						СРС, в том числе экзамен	
		Всего	из них						
			Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР	консультации		
4	72	72	17	-	17	-	1	38	4 (зачет)

1. Цели освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины «Введение в физику полупроводников» - дать базовые знания по физике полупроводников, необходимые как для понимания физических процессов, протекающих в полупроводниках, так и для понимания явлений, изучаемых в других курсах по специальности.

Задачами дисциплины является изучение основных принципов и законов физики полупроводников. В курсе ***«Введение в физику полупроводников»*** будут рассмотрены основы зонной теории твердого тела, статистика равновесных элек-

тронов и дырок в полупроводниках и неравновесные носители заряда, кинетические и оптические явления в полупроводниках.

2.Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Дисциплина ***«Введение в физику полупроводников»*** в структуре ОПОП ВО находится в вариативной части образовательной программы. Для освоения дисциплины «Введение в физику полупроводников» требуются знания и умения, приобретенные обучающимися в результате освоения таких дисциплин (разделов дисциплин) как: курс общей физики (механика и молекулярная физика), математический анализ, дифференциальные уравнения.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения) .

Код компетенции из ФГОС ВО	*Наименование компетенции из ФГОС ВО*	*Планируемые результаты обучения*
ПК-3	Готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций	*Знает:* основные закономерности формирования конденсированных сред, в том числе полупроводниковых материалов; классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории; основные свойства, процессы и явления, происходящие в полупроводниках; *Умеет:* описывать и качественно объяснять основные процессы и явления, происходящие в полупроводниках; использовать информационные источники для получения новых знаний о свойствах и областях применения полупроводников в электронике и наноэлектронике; выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения задач, касающихся процессов и явлений, происходящих в полупроводниках; *Владеет:* основными представлениями и понятиями, касающимися физики полупроводников; методами формулирования и решения задач в области физики полупроводников; опытом понимания качества исследований, относящихся к области физики полупроводников; методами самостоятельного изучения и анализа специальной научной и методической литературы, связанной с проблемами физики полупроводников;

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 2 зачетных единиц, 72 академических часа.

4.2. Структура дисциплины.

№ пп	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра)
				Лекции	Практ. зан.	Лаб.р.	Сам.раб.	
Модуль1								
1	Раздел 1. Роль полупроводников в современной физике и технике. Основные понятия физики полупроводниковых материалов	4	1-2	2	2		4	Физический диктант Контрольная работа
2	Раздел 2. Элементы зонной теории полупроводников	4	3-6	4	4		8	Контрольная работа
3	Раздел 3. Равновесные электроны и дырки в полупроводниках.	4	7-9	3	3		8	Рефераты
Модуль 2								
4	Раздел 4 Неравновесные электроны и дырки.	4	10-13	4	4		8	Контрольная работа
5	Раздел 5. Кинетические явления в полупроводниках	4	14-15	2	2		6	Контрольная работа
6	Раздел 6. Оптические явления в полупроводниках	4	16-17	2	2		4	Рефераты
7	Зачет	4	18					4
8	Итого			17	17		38	4

4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

Лекции

Модуль 1

Тема 1. Основные понятия физики полупроводниковых материалов.

Роль полупроводников в современной физике и технике. Вещества, относящиеся к полупроводникам. Особенности их кристаллической структуры и характер химической связи. Основные особенности электрических свойств полупроводников. Влияние примесей. Основы практического использования полупроводников. Качественная картина явлений переноса в полупроводниках. Понятие о дырках. Донорные и акцепторные примеси в полупроводниках - элементарная картина химических связей. Водородоподобная модель примесных центров.

Тема 2. Элементы зонной теории полупроводников (идеальная решетка). Основные предположения зонной теории. Волновая функция электрона в периодическом поле, зоны Бриллюэна, энергетические зоны. Основные различия между металлами, полупроводниками и диэлектриками с точки 9 зрения зонной теории. Особенности энергетического спектра электронов в полупроводниках. Характер дисперсионных зависимостей E(k) и эффективные массы электронов и дырок. Форма изоэнергетических поверхностей. Учет анизотропии кристаллических решеток. Примеры зонной структуры полупроводников.

Тема 3. Равновесные электроны и дырки в полупроводниках.

Статистика электронов в полупроводниках. Уровень электрохимического потенциала. Плотности состояний электронов и дырок. Концентрация электронов и дырок в случае собственной и примесной проводимости (невырожденный случай). Вычисление положения уровня Ферми и равновесных концентраций электронов и дырок в собственном и примесном полупроводнике.

Модуль 2

Тема 4. Неравновесные электроны и дырки.

Неравновесные электроны и дырки в полупроводниках. Механизмы рекомбинации. Время жизни неравновесных электронов и дырок, уравнение непрерывности, фотопроводимость, квазиуровни Ферми.

Тема 5. Кинетические явления в полупроводниках.

Электропроводность, эффект Холла, влияние магнитного ноля, градиента температуры. Время свободного пробега.

Тема 6. Оптические явления в полупроводниках.

Прямые и непрямые полупроводники. Механизмы оптических переходов в полупроводниках. Люминесценция.

Темы практических занятий.

1. Эффективная масса электрона в кристалле. Ее физический смысл. Связь эффективной массы с кривизной изоэнергетической поверхности, скоростью и квазиимпульсом.
2. Основные закономерности зонной структуры реальных полупроводников
3. Плотность квантовых состояний и функция распределения электронов по энергиям.
4. Статистика равновесных носителей в собственном полупроводнике и в примесных полупроводниках.
5. Рассеяние носителей заряда на колебаниях атомов кристаллической решетки и на ионизированных атомах примеси.
6. Температурная зависимость подвижность носителей.

7. Механизм сопротивления проводников электрическому ток
8. Температурная зависимость сопротивления полупроводников.
9. Зависимость концентрации носителей заряда и положения уровня Ферми от температуры для полупроводника с одним типом примеси.
10. Электропроводность собственных и примесных полупроводников.
11. Эффект Холла.
12. Неравновесные носители заряда. Уравнение непрерывности.
13. Механизмы рекомбинация неравновесных носителей.
14. Поглощение света. Фундаментальные (собственные) поглощения.
15. Фотопроводимость.

5. **Образовательные технологии**

При изучении дисциплины «Введение в физику полупроводников» применяются следующие информационные технологии: интерактивное обучение (моделирующие компьютерные программы, виртуальные учебные комплексы), мультимедийное обучение (презентации, моделирование и симуляция процессов и объектов).

Для усвоения дисциплины используются электронные базы учебно-методических ресурсов, электронные библиотеки.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, с использованием современных компьютерных средств обучения и демонстрации в учебном процессе составляет не менее 70% лекционных занятий.

Основными видами образовательных технологий с применением, как правило, компьютерных и технических средств, учебного и научного оборудования являются:

1. Информационные технологии.
2. Проблемное обучение.
3. Индивидуальное обучение.
4. Междисциплинарное обучение.
5. Опережающая самостоятельная работа.

Для достижения определенных компетенций при изучении дисциплины «Компоненты электронной техники» используются следующие формы организации учебного процесса: лекция (информационная, проблемная, лекция-визуализация, лекция-консультация и др.), практическое занятие, семинар, лабораторные работы, самостоятельная работа, консультация. Допускаются комбинированные формы проведения занятий, такие как лекционно-практические занятия.

Преподаватель самостоятельно выбирают наиболее подходящие методы и формы проведения занятий из числа рекомендованных и согласуют выбор с кафедрой.

Реализация компетентностного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий и организации внеаудиторной работы (компьютерных симуляций, деловых и ролевых игр, разбора конкретных ситуаций, психологических и иных тренингов) с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. Ин-

терактивное обучение – метод, в котором реализуется постоянный мониторинг освоения образовательной программы, целенаправленный текущий контроль и взаимодействие (интерактивность) преподавателя и студента в течение всего процесса обучения.

Самостоятельная работа организована в соответствие с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

1. самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;
2. поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Предполагается написание рефератов по темам, предложенным преподавателем. Рефераты готовятся и защищаются в течение того семестра, когда изучается предмет. Для написания рефератов используются как интернет – ресурсы, так и основная и дополнительная литература, приведенные ниже.

Промежуточный контроль.

В течение семестра студенты выполняют:

- домашние задания, выполнение которых контролируется и при необходимости обсуждается на практических занятиях;
- промежуточные контрольные работы во время практических занятий для выявления степени усвоения пройденного материала;
- выполнение итоговой контрольной работы по решению задач, охватывающих базовые вопросы курса: в конце семестра.

Итоговый контроль.

Зачет в конце 4 семестра, включающий проверку теоретических знаний и умение решения по всему пройденному материалу**.**

Изучать дисциплину рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе учебной дисциплины. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об изучаемых вопросах, а также отметить трудные и неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения, математические зависимости и выводы. Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее формулировки законов и основных понятий, новые незнакомые термины и названия, формулы, уравнения, математические зависимости и их выводы, так как при записи материал значительно лучше усваивается и запоминается.

Предполагается самостоятельная работа студентов при подготовке к практическим и лабораторным занятиям, в первую очередь. Кроме того самостоятельная работа предполагает самоподготовку к контрольным работа, а также к зачету. Самостоятельная работа должна проходить в 4 этапа:

1. Изучение рекомендованной литературы
2. Поиск в Интернете дополнительного материала
3. Подготовка к контрольной работе

4. Подготовка к зачету - тестированию

7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Фонды оценочных средств (контрольные вопросы и типовые задания для практических занятий, зачета; тесты и компьютерные тестирующие программы, примерную тематику рефератов и т.п., а также иные формы контроля, позволяющие оценить степень сформированности компетенций обучающихся) для проведения текущего, промежуточного и итогового контроля успеваемости и промежуточной аттестации имеются на кафедре. Они также размещены на образовательном сервере Даггосуниверситета (по адресу: http: //edu.dgu.ru), а также представлены в управление качества образования ДГУ.

Методические рекомендации преподавателям по разработке системы оценочных средств и технологий для проведения текущего контроля успеваемости по дисциплинам (модулям) ООП (тематики докладов, рефератов и т.п.), а также для проведения промежуточной аттестации по дисциплинам (модулям) ООП (в форме зачетов, экзаменов, курсовых работ / проектов и т.п.) и практикам представлены в Положении «О модульно-рейтинговой системе обучения студентов Дагестанского государственного университета», утвержденном ученым Советом Даггосуниверситета.

Уровень освоения учебных дисциплин обучающимися определяется следующими оценками: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценки «отлично» заслуживает обучающийся, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умение свободно выполнять практические задания, предусмотренные программой, усвоивший основную литературу и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой.

Оценки «хорошо» заслуживает обучающийся, обнаруживший полное знание учебного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе практические задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе.

Оценки «удовлетворительно» заслуживает обучающийся, обнаруживший знания основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением практических заданий, предусмотренных программой, знакомых с основной литературой, рекомендованной программой.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой практических заданий.

7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования приведен в описа-

нии образовательной программы.

Код компетенции из ФГОС ВО	*Наименование компетенции из ФГОС ВО*	*Планируемые результаты обучения*	*Процедура освоения*
ПК-3	Готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций	*Знает:* основные подходы к описанию реальных физических процессов и явлений в полупроводниках; современные тенденции развития материаловедения, твердотельной электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий; основные закономерности формирования конденсированы сред, в том числе полупроводниковых материалов *Умеет:* использовать специализированные знания в области физики полупроводников для освоения профильных физических дисциплин; описывать и качественно объяснять основные процессы и явления, происходящие в полупроводниках; использовать информационные источники для получения новых знаний о свойствах и областях применения полупроводников в электронике и наноэлектронике; *Владеет:* методологией теоретических и экспериментальных исследований в области фи-	Устный опрос, письменный опрос
			Письменный опрос
			Письменный опрос

		зики полупроводников; соответствующим физико - математическим аппаратом для выявления естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; методами количественного формулирования и решения задач в области физики полупроводников; опытом понимания качества исследований, относящихся к области физики полупроводников	Презентации Мини - конференция

7.2. Типовые контрольные задания

Темы для самостоятельной работы.

1. Зонная структура металлов, полупроводников и диэлектриков.
2. Эффективная масса электрона в кристалле. Ее физический смысл.
3. Связь эффективной массы с кривизной изоэнергетической поверхности, скоростью и квазиимпульсом.
4. Водородоподобные примесные центры в полупроводниках. Мелкие и глубокие уровни.
5. Каковы определения дефектов-доноров и дефектов-акцепторов.
6. Чем отличается распределение носителей заряда по состояниям в разрешенных зонах и на примесных уровнях.
7. Основные закономерности зонной структуры реальных полупроводников
8. Плотность квантовых состояний и функция распределения электронов по энергиям.
9. Статистика равновесных носителей в собственном полупроводнике
10. Статистика равновесных носителей в полупроводнике n - типа.
11. Статистика равновесных носителей в полупроводнике p- типа.
12. Рассеяние носителей заряда на колебаниях атомов кристаллической решетки.
13. Рассеяние носителей заряда на ионизированных атомах примеси.
14. Дрейфовая подвижность носителей и ее зависимость от температуры
15. Механизм сопротивления проводников электрическому току
16. Температурная зависимость сопротивления полупроводников.
17. Собственная проводимость полупроводника.
18. Примесная проводимость полупроводника.
19. Зависимость концентрации и положения уровня Ферми от температуры для полупроводника с одним типом примеси.
20. Электропроводность собственных и примесных полупроводников.
21. Эффект Холла.
22. Неравновесные носители заряда. Уравнение непрерывности.

23. Межзонная рекомбинация неравновесных носителей.
24. Рекомбинация через локальные центры.
25. Поглощение света. Фундаментальные (собственные) поглощения.
26. Примесные и экситонные поглощения. Поглощение свободными носителями и решеточное.
27. Фотопроводимость.

Контрольные вопросы для практических занятий.
Тема 1.Основы зонной теории полупроводников

1. Чем отличается энергетический спектр электронов в кристалле от спектра в изолированном атоме?
2. Что такое квазиимпульс электрона?
3. Каковы различия в зонной структуре металлов, полупроводников и диэлектриков?
4. Эффективная масса электрона в кристалле. Ее физический смысл.
5. Связь эффективной массы с кривизной изоэнергетической поверхности, скоростью и квазиимпульсом.
6. Приведите и объясните эксперименты, подтверждающие существование энергетических зон в твердых телах.
7. Как экспериментальным образом можно определить эффективные массы носителей заряда?
8. Что такое водородоподобная модель примесных состояний?
9. Каковы определения дефектов-доноров и дефектов-акцепторов?
10. Чем отличается распределение носителей заряда по состояниям в разрешенных зонах и на примесных уровнях?
11. Основные закономерности зонной структуры реальных полупроводников.

Тема 2.
Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках

1. Какие носители заряда в полупроводниках называются равновесными?
2. Понятие о собственном и примесном полупроводниках.
3. Дайте определение функции плотности состояний для электронов и дырок.
4. Дайте графическую иллюстрацию выражений для концентраций электронов и дырок в случае вырожденного и невырожденного полупроводника
5. Где расположен уровень Ферми в энергетическом спектре собственного полупроводника?
6. В чем отличие уровня Ферми в полупроводниках от энергии Ферми в металлах?
7. Что собой представляет энергетический спектр электронов в полупроводнике?
8. Как подсчитать эффективное число состояний в зонах?
9. Запишите формулу для концентрации носителей заряда в собственном полупроводнике для невырожденного и вырожденного полупроводника.
10. Покажите, что в сильно вырожденном полупроводнике концентрация электронов не зависит от температуры.

11. Как экспериментально найти ширину запрещенной зоны в невырожденном полупроводнике?
12. Как зависит ширина запрещенной зоны от внешних факторов?
13. Покажите графически температурную зависимость уровня Ферми собственного и невырожденного донорного полупроводника.
14. Понятие о плотности состояний и зависимости ее от энергии для разрешенных зон и примесных уровней.
15. Концентрация носителей, выраженная через уровень Ферми.
16. Запишите и поясните условие электронейтральности в общем случае.
17. Может ли примесный полупроводник обладать собственной проводимостью?
18. Каково условие вырождения полупроводника при введении в него примесей. В какой из полупроводников InAs или Ge нужно вести большую концентрацию примеси для достижения вырождения.

Тема 3.
Кинетические явления в полупроводниках.

1. Понятие о подвижности носителей. Электропроводность полупроводника.
2. Что такое энергия активации проводимости?
3. Каков механизм действия фононов на электропроводность?
4. Зависимость подвижности и электропроводности от температуры.
5. Рассеяние носителей заряда в полупроводниках. Основные механизмы рассеяния.
6. Эффект Холла в твердых телах. Как отклоняются электроны и дырки?
7. Что такое магнетосопротивление?
8. Какие параметры полупроводника можно определить с помощью эффекта Холла?
9. Какие явления и эффекты приводят к повышению концентрации носителей заряда в полупроводниках в сильных электрических полях.?
10. Какие явления и эффекты связаны с увеличением подвижности носителей заряда в полупроводниках в сильных электрических полях?
11. Что такое ударная ионизация, электростатическая ионизация, эффект Зинера?

Тема 4.
Оптические явления в полупроводниках

1. Какие макроскопические параметры характеризуют взаимодействие электромагнитного излучения с веществом?
2. Как связаны коэффициенты пропускания света, его поглощения и отражения?
3. Запишите закон Бугера – Ламберта.
4. Что такое спектр поглощения?
5. Каков физический смысл коэффициента поглощения?
6. Виды оптического поглощения в полупроводниках.
7. Как проявляют себя фононы в явлении поглощения света твердыми телами?

8. В чем состоит физический смысл прямозонных и непрямозонных электронных переходов в энергетическом спектре полупроводников?
9. Форма края собственного поглощения при прямых переходах.
10. Что такое экситон?
11. Форма края собственного поглощения при непрямых переходах.
12. Какую информацию можно получить из исследований спектров собственного поглощения?
13. Какую информацию можно получить из исследований спектров примесного поглощения?
14. Что такое люминесценция? Виды люминесценции в твердом теле.
15. Механизмы излучательной рекомбинации.

Примерные контрольные работы

Вариант 1

1. Неравновесные носители заряда. Механизмы рекомбинации в полупроводниках.
2. Сколько электронов находится на уровне Ферми в собственном полупроводнике?
3. Через пластину кремния с удельным сопротивлением 0,01 Ом м проходит электрический ток плотностью 10 мА/мм^2. Найти средние скорости электронов и дырок, если их подвижности 0,14 и 0,05 м^2/(В с), соответственно.

Вариант 2

1. Поглощение света в полупроводниках.
2. При комнатной температуре средняя энергия тепловых колебаний атомов существенно меньше ширины запрещенной зоны полупроводников. Каким образом электроны из валентной зоны могут переходить в зону проводимости в собственном полупроводнике?
3. Определить максимальную ширину запрещенной зоны, которую может иметь полупроводник, используемый в качестве фотодетектора, если он должен быть чувствительным к излучению с длиной волны λ = 565 нм.

Вариант 3

1. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в полупроводниках.
2. Основные признаки полупроводниковых материалов.
3. Вычислить диффузионную длину дырок в германии n-типа, если время жизни неосновных носителей заряда $\tau_p = 10^{-4}$ с, а коэффициент диффузии $D_p = 4{,}8*10^3$ м^2/с.

Вариант 4

1. Эффект Холла.
2. Объясните, какая из дырок обладает большей энергией: в центре валентной зоны или у ее потолка.

3. В чем заключается отличие рекомбинационных ловушек от ловушек захвата? Как изменяется фотопроводимость полупроводников при увеличении числа рекомбинационных ловушек?
4. Эпитаксиальный слой n - GaAs имеет при комнатной температуре удельное сопротивление $5*10^{-3}$ Ом м. Определить концентрацию доноров в слое, если подвижность электронов 0,8 $м^2$/(В с).

Вариант 5

1. Температурная зависимость подвижности носителей заряда.
2. Какие параметры полупроводника можно определить с помощью эффекта Холла?
3. Определить ток через образец кремния прямоугольной формы размерами $l \times b \times h = 5 \times 2 \times 1$ $мм^3$, если вдоль образца приложено напряжение 10 В. Известно, что концентрация электронов в полупроводнике $n = 10^{21}$ $м^{-3}$, а их подвижность $\mu_n = 0{,}14$ $м^2$/(В с).

Вариант 6

1. Фотопроводимость полупроводников.
2. Что такое собственный полупроводник? Может ли примесный полупроводник обладать собственной электропроводностью?
3. Вычислите энергию фотонов для красного излучения (λ = 700 нм). Укажите, какие полупроводник прозрачны для этого излучения, а какие поглощают его.

Вариант 7

1. Люминесценция в полупроводниках.
2. Может ли проводимость полупроводника уменьшаться при повышении температуры?
3. Определить удельное сопротивление полупроводника n-типа, если концентрация электронов проводимости в нем равна 10^{22} $м^{-3}$, а их подвижность 0,5 $м^2$/(В с).

Вариант 8

1. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в полупроводниках
2. Каким соотношением связаны между собой концентрации электронов и дырок в невырожденном полупроводнике при термодинамическом равновесии?
3. При напряженности электрического поля 100 В/м плотность тока через полупроводник $6*10^4$ А/$м^2$. Определить концентрацию электронов проводимости в полупроводнике, если их подвижность 0,375 $м^2$/(В*с). Дырочной составляющей пренебречь.

Вариант 9

1. Температурная зависимость проводимости в полупроводниках.
2. Назовите основные механизмы поглощения света в полупроводниках. Какие из них являются фотоактивными?

3. Концентрация электронов проводимости в полупроводнике равна 10^{18} м$^{-3}$. Определить концентрацию дырок в этом полупроводнике, если известно, что собственная концентрация носителей заряда при этой же температуре равна 10^{16} м$^{-3}$.

Вариант 10

1. Собственный и примесный полупроводник.
2. Что понимают под фоторезистивным эффектом?
3. Удельное сопротивление собственного кремния при 300 К равно 2000 Ом м, собственная концентрация носителей заряда n_i = 1,5 10^{16} м$^{-3}$. Чему равно при этой температуре удельное сопротивление кремния n-типа с концентрацией электронов n = 10^{20} м$^{-3}$? Полагать, что подвижность электронов три раза больше подвижности дырок и что это соотношение сохраняется как для собственного, так и для примесного полупроводника с заданной степенью легирования.

Примерные тестовые задания

1. Основные признаки полупроводников:
   а) положительный температурный коэффициент удельного сопротивления α_ρ
   б) зависимость величины удельного сопротивления ρ от внешних воздействий
   в) зависимость величины удельного сопротивления ρ от типа и количества примесей
   г) способность к поляризации
   д) отрицательный температурный коэффициент удельного сопротивления α_ρ
2. Собственный полупроводник – это полупроводник:
   а) электрофизические свойства которых определяются примесями
   б) с не очень широкой запрещенной зоной
   в) в котором отсутствуют примеси
   г) с большой шириной запрещенной зоны
   д) в котором можно пренебречь влиянием примесей
3. Может ли примесный полупроводник обладать собственной электропроводностью? (ответить да или нет).
4. В собственном полупроводнике на уровне Ферми находится ____ электронов (указать цифру)
5. В полупроводнике большей энергией обладает дырка, которая находится:
   а) у потолка валентной зоны
   б) в центре валентной зоны
   в) в запрещенной зоне
   г) у дна зоны проводимости
   д) за пределами валентной зоны

6. Примеси, захватывающие электроны из валентной зоны полупроводника, называют_____.
7. В идеальном кристалле собственного полупроводника концентрация электронов (n) и дырок (p) находятся в соотношении:
   а) $n = p$
   б) $n < p$
   в) $n > p$
   г) $n \neq p$
   д) $n \approx p$
8. В полупроводниках различают следующие механизмы рекомбинации:
   а) безизлучательная рекомбинация
   б) рекомбинация через ловушки захвата
   в) излучательная рекомбинация
   г) межзонная рекомбинация
   д) рекомбинация с участием ловушек
9. Фотоактивными механизмами поглощения света в полупроводнике являются:
   а) экситонное поглощение
   б) собственное поглощение
   в) поглощение света свободными носителями заряда
   г) примесное поглощение
   д) поглощение света кристаллической решеткой
10. С помощью эффект Холла можно определить такие параметры полупроводника как:
   а) подвижность носителей заряда
   б) тип кристаллической структуры
   в) тип химической связи
   г) концентрацию носителей заряда
   д) тип проводимости полупроводника
11. Ловушками в полупроводнике, определяющими процессы рекомбинации, являются:
   а) собственные атомы
   б) неравновесные носители заряда
   в) дефекты структуры
   г) примеси
   д) собственные ионы
12. Свободные носители зарядов, возникающие в результате тепловой генерации и находящиеся в термодинамическом равновесии с кристаллической решеткой, называют_____
13. Установите соответствие между основными механизмами поглощения света:
   1. собственное поглощение
   2. экситонное поглощение
   3. поглощение света носителями заряда
   4. примесное поглощение
   5. поглощение света кристаллической решеткой

и процессами, которые при этом происходят:

а) обусловлено переходами носителей зарядов с одного энергетического уровня на другой внутри энергетических зон под действием света

б) связано с ионизацией или возбуждением примесных атомов в кристаллической решетки

в) связано с образованием особых возбужденных состояний электронов валентной зоны (экситонов)

г) происходит в результате взаимодействия света с колеблющимися зарядами узлов кристаллической решетки

д) обусловлено переходами из валентной зоны в зону проводимости

14. Система из взаимосвязанных собственными электростатическими полями электрона и оставленной им дырки представляет собой ___ _____

15. Для наблюдения люминесценции в полупроводниках должны происходить процессы в следующей последовательности:

а) рекомбинация неравновесных носителей заряда

б) передача энергии полупроводнику (фотоны, электронный пучок, электрическое поле)

в) излучение кванта света

г) генерация неравновесных носителей заряда

16. Инжекционная электролюминесценция лежит в основе принципа действия:

а) полупроводниковых лазеров

б) полупроводниковых диодов

в) биполярных транзисторов

г) светодиодов

д) датчиков Холла

7.3. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

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

Контроль освоения студентом дисциплины осуществляется в рамках модульно - рейтинговой системы в ДМ, включающих текущую, промежуточную и итоговую аттестации.

По результатам текущего и промежуточного контроля составляется академический рейтинг студента по каждому модулю и выводится средний рейтинг по всем модулям.

По результатам итогового контроля студенту засчитывается трудоемкость дисциплины в ДМ, выставляется дифференцированная отметка в принятой системе баллов, характеризующая качество освоения студентом знаний, умений и навыков по данной дисциплине.

В соответствии с учебным планом предусмотрен экзамен во 2-м семестре.

Формы контроля: текущий контроль, промежуточный контроль по модулю, итоговый контроль по дисциплине предполагают следующее распределение баллов.

Текущий контроль:

- посещаемость занятий _5_ баллов
- активное участие на занятиях _25_баллов
- выполнение домашних (аудиторных) контрольных работ _5_баллов
- написание и защита рефератов _5_ баллов

Максимальное суммарное количество баллов по результатам текущей работы для каждого модуля – 40 баллов.

Промежуточный контроль освоения учебного материала по каждому модулю проводится преимущественно в форме тестирования.

Максимальное количество баллов за промежуточный контроль по одному модулю - 60 баллов. Результаты всех видов учебной деятельности за каждый модульный период оценивается рейтинговыми баллами.

Минимальное количество средних баллов по всем модулям, которое дает право студенту на положительные отметки без итогового контроля знаний:

- от 51 до 69 балла – удовлетворительно
- от 70 до 84 балла – хорошо
- от 85 до 100 балла – отлично
- от 51 и выше - зачет

Итоговый контроль по дисциплине осуществляется преимущественно в форме тестирования по балльно-рейтинговой системе, максимальное количество которых равно – 100 баллов.

Итоговая оценка по дисциплине выставляется в баллах. Удельный вес итогового контроля в итоговой оценке по дисциплине составляет 30%, среднего балла по всем модулям 70%.

Критерии оценок следующие:

- 100 баллов – студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности.
- 90 баллов - студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности, но допускает отдельные неточности.
- 80 баллов - студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности, но допускает некоторые ошибки общего характера.
- 70 баллов - студент хорошо понимает пройденный материал, но не может теоретически обосновывать некоторые выводы.
- 60 баллов – студент отвечает в основном правильно, но чувствуется механическое заучивание материала.

- 50 баллов – в ответе студента имеются существенные недостатки, материал охвачен «половинчато», в рассуждениях допускаются ошибки.
- 40 баллов – ответ студента правилен лишь частично, при разъяснении материала допускаются серьезные ошибки.
- 20-30 баллов - студент имеет общее представление о теме, но не умеет логически обосновать свои мысли.
- 10 баллов - студент имеет лишь частичное представление о теме.
- 0 баллов – нет ответа.

Эти критерии носят в основном ориентировочный характер. Если в билете имеются задачи, они могут быть более четкими.

Шкала диапазона для перевода рейтингового балла в «5»-бальную систему:

«0 – 50» баллов – неудовлетворительно
«51 – 65» баллов – удовлетворительно
«66 - 85» баллов – хорошо
«86 - 100» баллов – отлично
«51 и выше» баллов – зачет

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.

а) *основная литература*:

1. Шалимова К. В. Физика полупроводников. - М.: Лань, 2010. СПб:Лань, 2010. – 703 С. – 62 (в научной библиотеке ДГУ).
2. Зегря Г.Г., Перель В.И. Основы физики полупроводников. М.: Физматлит, 2009, 335 С. – 20 (в научной библиотеке ДГУ).
3. Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. Физика полупроводников. М., Наука 2-е издание. 1990, 685 С. – 5 (в научной библиотеке ДГУ).
4. Кардона П. Ю. Основы физики полупроводников. - М.: Физматлит, 2002, 560 С. – свободный доступ: https://nashol.com/2013091973570/osnovi-fiziki-poluprovodnikov-kardona-m-peter-u-2002.html

б) *дополнительная литература*:

1. Пасынков В.В., Чиркин Л.К.. Полупроводниковые приборы: учеб. пособие – СПб.: Лань, 2009, 479 С. – 24 (в научной библиотеке ДГУ).
2. Гуртов В.А. Твердотельная электроника. Изд-во « Техносфера», 2005, 406 С. – 1 (в научной библиотеке ДГУ).
3. Журавлева Л. В. Электроматериаловедение : Учеб. пособие для сред. проф. образования - М.:ПрофОбрИздат, 2001. - 312 С. – 10 (в научной библиотеке ДГУ).
4. Миловзоров О. В.Электроника. - М.:Высшая школа, 2008. - 288 С. – 14 (в научной библиотеке ДГУ).

9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Дагестанский государственный университет имеет доступ к комплектам библиотечного фонда основных отечественных и зарубежных академических и отраслевых журналов по профилю подготовки бакалавров по направлению ***11.04.03. Электроника и наноэлектроника*:**

1. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» www.biblioclub.ru договор № 55_02/16 от 30.03.2016 г. об оказании информационных услуг.(Доступ продлен до сентября 2019 года).
2. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ). https://uisrussia.msu.ru/ Доступ бессрочный.
3. Доступ к электронной библиотеки на http://elibrary.ru основании лицензионного соглашения между ФГБОУ ВПО ДГУ и «ООО» «Научная Электронная библиотека» от 15.10.2003. (Раз в 5 лет обновляется лицензионное соглашение)
4. Федеральный портал «Российское образование» http://www.edu.ru/ (единое окно доступа к образовательным ресурсам).
5. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» http://school-collection.edu.ru/
6. Российский портал «Открытого образования» http://www.openet.edu.ru
7. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета http://edu.icc.dgu.ru
8. Информационные ресурсы научной библиотеки Даггосуниверситета http://elib.dgu.ru (Доступ через платформу Научной электронной библиотеки elibrary.ru).
9. Федеральный центр образовательного законодательства http://www.lexed.ru
10. http://www.phys.msu.ru/rus/library/resources-online/ - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета МГУ.
11. http://www.phys.spbu.ru/library/ - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета Санкт-Петербургского госуниверситета.
12. **Мировая интерактивная база данных SpringerLink.** Доступ ДГУ предоставлен согласно договору № 582-13SP подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г., подписанный ГПНТБ с организациями-победителями конкурса. http://link.springer.com. Доступ открыт с 01.01.2018.
13. **Мультидисциплинарная библиографическая и реферативная база данных SCOPUS** https://www.scopus.com. Доступ предоставлен согласно сублицензионному договору №Scopus/73 от 08 августа 2017г. подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г.г., подписанный ГПНТБ с организациями-победителями конкурса. Доступ открыт с 01 сентября 2017 г.
14. **БД SAGE Premier. Журналы Sage Publications :**http://journals.sagepub.com/ . Доступ открыт с 01 января 2018 г.
15. Международная реферативная база данных **Web of Science** - webofknowledge.com. Доступ предоставлен согласно сублицензионному дого-

вору № WoS/280 от 01 апреля 2017г. подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г.г., подписанный ГПНТБ с организациями-победителями конкурса Доступ открыт с 01 апреля 2017 г.

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Студент в процессе обучения должен не только освоить учебную программу, но и приобрести навыки самостоятельной работы. Студенту предоставляется возможность работать во время учебы более самостоятельно, чем учащимся в средней школе. Студент должен уметь планировать и выполнять свою работу. Удельный вес самостоятельной работы составляет по времени 30% от всего времени изучаемого цикла. Это отражено в учебных планах и графиках учебного процесса, с которым каждый студент может ознакомиться у преподавателя дисциплины.

Главное в период обучения своей специальности - это научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения.

Четкое планирование своего рабочего времени и отдыха является необходимым условием для успешной самостоятельной работы. В основу его нужно положить рабочие программы изучаемых в семестре дисциплин, учебный план и расписание занятий вывешивается на 2-м этаже учебного корпуса. Рекомендуется не только ознакомиться с этими документами, но и изучить их.

Ежедневной учебной работе студенту следует уделять 9-10 часов своего времени, т.е. при 6 часах аудиторных занятий самостоятельной работе необходимо отводить 3-4 часа.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтра. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

Работа на лекции

На лекциях студенты получают самые необходимые данные, во многом дополняющие учебники (иногда даже их заменяющие с последними достижениями науки. Умение сосредоточенно слушать лекции, активно, творчески воспринимать излагаемые сведения является непременным условием их глубокого и прочного усвоения, а также развития умственных способностей.

Слушание и запись лекций - сложные виды вузовской работы. Внимательное слушание и конспектирование лекций предполагает интенсивную умственную деятельность студента. Слушая лекции, надо отвлечься при этом от посторонних мыслей и думать только о том, что излагает преподаватель. Краткие записи лекций, конспектирование их помогает усвоить материал.

Внимание человека неустойчиво. Требуются волевые усилия, чтобы оно было сосредоточенным. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное. Это должно быть сделано самим студентом. Не надо стремиться записать дословно всю лекцию. Такое "конспектирование" приносит больше вреда, чем пользы. Некоторые студенты просят иногда лектора "читать помедленнее". Но лекция не может превратиться в лекцию-диктовку. Это очень вредная тенденция, ибо в этом случае студент механически записывает большое количество услышанных сведений, не размышляя над ними.

Запись лекций рекомендуется вести по возможности собственными формулировками. Желательно запись осуществлять на одной странице, а следующую оставлять для проработки учебного материала самостоятельно в домашних условиях. Конспект лучше подразделять на пункты, параграфы, соблюдая красную строку. Принципиальные места, определения, формулы следует сопровождать замечаниями: "важно", "особо важно", "хорошо запомнить" и т.п. Целесообразно разработать собственную "маркографию"(значки, символы), сокращения слов. Не лишним будет и изучение основ стенографии. Работая над конспектом лекций, всегда используй не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

Подготовка к сессии

Каждый учебный семестр заканчивается аттестационными испытаниями: зачетно - экзаменационной сессией. Подготовка к экзаменационной сессии и сдача зачетов и экзаменов является ответственейшим периодом в работе студента. Серьезно подготовиться к сессии и успешно сдать все экзамены - долг каждого студента. Рекомендуется так организовать свою учебу, чтобы перед первым днем начала сессии были сданы и защищены все лабораторные работы, сданы все зачеты, выполнены другие работы, предусмотренные графиком учебного процесса.

Основное в подготовке к сессии - это повторение всего материала, курса или предмета, по которому необходимо сдавать экзамен. Только тот успевает, кто хорошо усвоил учебный материал.

Если студент плохо работал в семестре, пропускал лекции, слушал их невнимательно, не конспектировал, не изучал рекомендованную литературу, то в процессе подготовки к сессии ему придется не повторять уже знакомое, а заново в короткий срок изучать весь материал. А это зачастую оказывается невозможно сделать из-за нехватки времени. Для такого студента подготовка к экзаменам будет трудным, а иногда и непосильным делом, а финиш - отчисление из учебного заведения.

В дни подготовки к экзаменам избегай чрезмерной перегрузки умственной работой, чередуй труд и отдых.

При подготовке к сдаче экзаменов старайся весь объем работы распределять равномерно по дням, отведенным для подготовки к экзамену, контролировать каждый день выполнения работы. Лучше, если можно перевыполнить план. Тогда всегда будет резерв времени.

Методические рекомендации для преподавателя

Одной из задач преподавателя, ведущего занятия по дисциплине, является выработка у бакалавров осознания важности, необходимости и полезности знания дисциплины для дальнейшей работы их инженерами-исследователями, при организации современного производства высококачественной, конкурентоспособной продукции.

Методическая модель преподавания дисциплины основана на применении активных методов обучения. Принципами организации учебного процесса являются:

- выбор методов преподавания в зависимости от различных факторов, влияющих на организацию учебного процесса;
- объединение нескольких методов в единый преподавательский модуль в целях повышения эффективности процесса обучения;
- активное участие слушателей в учебном процессе;
- приведение примеров применения изучаемого теоретического материала к реальным практическим ситуациям.

Используемые методы преподавания: лекционные занятия с использованием наглядных пособий и раздаточных материалов; метод «мозгового штурма», индивидуальные и групповые задания при проведении практических занятий.

Все виды занятий по дисциплине проводятся в соответствие с требованиями СТП. С целью более эффективного усвоения бакалаврами материала данной дисциплины рекомендуется при проведении лекционных занятий использовать наглядные пособия и раздаточные материалы. Для более глубокого изучения предмета бакалаврам представляется информация о возможности использования Интернет-ресурсов по разделам дисциплины.

Для контроля знаний бакалавров по данной дисциплине необходимо проводить рубежный и итоговый контроль.

Рубежный контроль. Бакалаврами по изученной дисциплине выполняются реферативные работы, доклады.

Контрольное тестирование. Этот метод включает в себя задания по всем темам раздела рабочей программы дисциплины.

Итоговый контроль осуществляется в виде зачета в конце семестра.

Студент в процессе обучения должен не только освоить учебную программу, но и приобрести навыки самостоятельной работы. Студент должен уметь планировать и выполнять свою работу. Удельный вес самостоятельной работы составляет по времени 30% от всего времени изучаемого цикла. Это отражено в учебных планах и графиках учебного процесса, с которым каждый студент может ознакомиться у преподавателя дисциплины.

Главное в период обучения своей специальности - это научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтра. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли ка-

ких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удается разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практических работах.
Практические занятия	Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины. Конспектирование источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы, работа с текстом. Решение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму и др.
Реферат	Поиск литературы и составление библиографии, использование от 3 до 5 научных работ, изложение мнения авторов и своего суждения по выбранному вопросу; изложение основных аспектов проблемы. Кроме того, приветствуется поиск информации по теме реферата в Интернете, но с обязательной ссылкой на источник, и подразумевается не простая компиляция материала, а самостоятельная, творческая, аналитическая работа, с выражением собственного мнения по рассматриваемой теме и грамотно сделанными выводами и заключением. Ознакомиться со структурой и оформлением реферата.
Подготовка к экзамену	При подготовке к экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и др.

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.

Для проведения лекций может быть использовано проекционное оборудование с подключенным к нему персональным компьютером: с использованием мультимедийных презентаций и интерактивной доски. Использование анимированных интерактивных компьютерных демонстраций и практикумов-тренингов по ряду разделов дисциплины.

Технические характеристики персонального компьютера должны обеспечивать возможность работы с современными версиями операционной системы Windows, пакета Microsoft Office, обслуживающих программ и другого, в том числе и сетевого программного обеспечения.

12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Материально – техническая база кафедры инженерной физики, которая осуществляет подготовку по направлению 11.03.04 **«Электроника и наноэлектроника»,** позволяет готовить бакалавров, отвечающих требованиям ФГОС ВО. На кафедре имеются 3 учебных и 5 научных лабораторий, оснащенных современной технологической, измерительной и диагностической аппаратурой; в том числе функционирует проблемная НИЛ «Твердотельная электроника». Функционируют специализированные учебные и научные лаборатории: Физика и технология керамических материалов для твердотельной электроники, Физика и технология тонкопленочных структур, Электрически активные диэлектрики в электронике, Физическая химия полупроводников и диэлектриков.

Лекционные занятия проводятся в аудитории, оснащенной мультимедиым проекционным оборудованием и интерактивной доской.