

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Утверждено:  
на заседании кафедры общей физики  
«6» июня 2018 г., протокол № 6

Согласовано:  
Председатель УМК ФТИ

Зав. кафедрой



/Балапанов М.Х.



\_\_\_\_\_/Балапанов М.Х.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**Физика полупроводников и диэлектриков**

(наименование дисциплины)

**Б1.В.1.ДВ.06.01, вариативная, дисциплина по выбору**

(Цикл дисциплины и его часть (базовая, вариативная, дисциплина по выбору))

программа бакалавриата

Направление подготовки (специальность)

**03.03.02 Физика**


(код и наименование направления подготовки (специальности))

Направленность (профиль) подготовки

**«Физика конденсированного состояния вещества»**

(наименование направленности (профиля) подготовки)

Квалификация  
бакалавр

Разработчики (составители) профессор, д.ф.-м.н., профессор (должность, ученая степень, ученое звание)	
---	---

/\_Балапанов М.Х.

Для приема: 2018 г.

Уфа 2018 г.

Составитель / составители: профессор, д.ф.-м.н. Балапанов М.Х.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры общей физики  
«6» июня 2018 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой



\_\_\_\_\_ / Балапанов М.Х.

## Список документов и материалов (оглавление)

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	4
Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы	6
Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся) - <i>(Приложение №1)</i>	6 (21)
Фонд оценочных средств по дисциплине	7
4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания	7
4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	10
4.3. Рейтинг-план дисциплины <i>(Приложение №2)</i>	26
Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	18
5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	18
5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины	18
Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	20

# 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

При изучении дисциплины «Физика полупроводников и диэлектриков» у обучающегося должны формироваться следующие компетенции:

**ОПК-3:** способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач;

**ПК-1:** способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин;

**ПК-3:** готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований.

Для формирования указанных компетенций и освоения образовательной программы обучающийся должен показать следующие результаты обучения по дисциплине:

Результаты обучения		Формируемая компетенция (с указанием кода)	Примечание
Знания	1. Знать: основные экспериментальные факты и теоретические представления о кристаллической структуре и типах химической связи в полупроводниках и диэлектриках, зонной структуре, статистике электронов и дырок в полупроводниках, механизмах рассеяния носителей заряда, основных кинетических явлениях в полупроводниках и влиянии на них примесей и дефектов, о практическом значении и перспективах применения современных полупроводниковых и диэлектрических материалов.	способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач (ОПК-3);  способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (ПК-1)	
	2. Знать методы измерений основных параметров полупроводников	готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований (ПК-3)	
Умения	1. Уметь: пользоваться основными законами общей и теоретической физики для анализа физических характеристик полупроводников, предсказывать поведение полупроводников при изменении тех или иных физических и химических факторов	способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач (ОПК-3);  способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (ПК-1)	
	2. Уметь применять знания теории полупроводников и методов физических исследований при выполнении лабораторных работ, анализе и интерпретации их результатов.	готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований (ПК-3)	
Владения (навыки / опыт деятельности)	1. Владеть экспериментальными методами определения положения уровня Ферми в полупроводниках	способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач (ОПК-3)	
	2. Владеть навыками использования классической и квантовой статистики для объяснения кинетических свойств полупроводников	способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (ПК-1)	
	3. Владеть навыками корректного выполнения измерений основных параметров полупроводников и диэлектриков	готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований (ПК-3)	

## **2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Физика полупроводников и диэлектриков» относится к *вариативной* части рабочего учебного плана и является дисциплиной по выбору.

Дисциплина изучается на 4 курсе в 7 семестре.

*Цель и задачи дисциплины* –на основе квантовой теории твердого тела дать студентам основные представления физики полупроводников и диэлектриков, включая зонную теорию, статистику носителей тока, элементы теории рассеяния носителей заряда, сведения об основных кинетических явлениях на основе решения кинетического уравнения Больцмана, ознакомить с основными современными экспериментальными результатами и практическими применениями диэлектрических и полупроводниковых материалов, перспективами дальнейшего развития данной области знаний.

Дисциплина «Физика полупроводников и диэлектриков» продолжает ознакомление с результатами физических экспериментов и теоретическими представлениями в области квантовой теории о свойствах кристаллических материалов. Для освоения данной дисциплины студенту, кроме знания разделов общей и теоретической физики необходимы знание дифференциального и интегрального исчисления, умение решать простейшие дифференциальные уравнения, начальные сведения по теории вероятностей и статистике.

## **3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)**

Содержание рабочей программы представлено в Приложении № 1.

## 4. Фонд оценочных средств по дисциплине

### 4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### Код и формулировка компетенции

**ОПК-3:** способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач;

Этап (уровень освоения компетенции)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Неудовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 «Хорошо»	5 «Отлично»
Первый этап (знания)	1. Знать: основные экспериментальные факты и теоретические представления о кристаллической структуре и типах химической связи в полупроводниках и диэлектриках, зонной структуре, статистике электронов и дырок в полупроводниках, механизмах рассеяния носителей заряда, основных кинетических явлениях в полупроводниках и влиянии на них примесей и дефектов, о практическом значении и перспективах применения современных полупроводниковых и диэлектрических материалов.	Показывает полное незнание материала или имеет фрагментарные знания небольшой части материала, допускает грубые ошибки	Имеет значительные пробелы в знаниях, допускает существенные ошибки в ответах	Знает почти всё, допускает незначительные ошибки в ответах	Знает всё
Второй этап (умения)	1. Уметь: пользоваться основными законами общей и теоретической физики для анализа физических характеристик полупроводников, предсказывать поведение полупроводников при изменении тех или иных физических и химических факторов	Не умеет	Умеет, но допускает значительные ошибки	Умеет, допускает незначительные ошибки	Умеет в совершенстве
Третий этап (навыки)	1. Владеть экспериментальными методами определения положения уровня Ферми в полупроводниках	Практически не владеет	Владеет слабо, допускает значительные ошибки	Владеет, допускает незначительные ошибки	Владеет в совершенстве

**ПК-1:** способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин;

Этап (уровень освоения компетенции)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 «Неудовлетворительно»	3 «Удовлетворительно»	4 «Хорошо»	5 «Отлично»
Первый этап (знания)	1. Знать: основные экспериментальные факты и теоретические представления о кристаллической структуре и типах химической связи в полупроводниках и диэлектриках, зонной структуре, статистике электронов и дырок в	Показывает полное незнание материала или имеет фрагментарные знания небольшой части материала, допускает грубые ошибки	Имеет значительные пробелы в знаниях, допускает существенные ошибки	Знает почти всё, допускает незначительные ошибки в ответах	Знает всё

	полупроводниках, механизмах рассеяния носителей заряда, основных кинетических явлениях в полупроводниках и влиянии на них примесей и дефектов, о практическом значении и перспективах применения современных полупроводниковых и диэлектрических материалов.		в ответах		
Второй этап (умения)	1. Уметь: пользоваться основными законами общей и теоретической физики для анализа физических характеристик полупроводников, предсказывать поведение полупроводников при изменении тех или иных физических и химических факторов	Не умеет	Умеет, но допускает значительные ошибки	Умеет, допускает незначительные ошибки	Умеет в совершенстве
Третий этап (владение навыками)	1. Владеть навыками использования классической и квантовой статистики для объяснения кинетических свойств полупроводников	Практически не владеет	Владеет слабо, допускает значительные ошибки	Владеет, допускает незначительные ошибки	Владеет в совершенстве

**ПК-3:** готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований.

Этап (уровень освоения компетенции)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Неудовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 «Хорошо»	5 «Отлично»
Первый этап (знания)	1. Знать методы измерений основных параметров полупроводников	Показывает незнание материала или имеет фрагментарные знания небольшой части материала, допускает грубые ошибки	Имеет значительные пробелы в знаниях, допускает существенные ошибки в ответах	Знает почти всё, допускает незначительные ошибки в ответах	Знает всё
Второй этап (умения)	1. Уметь применять знания теории полупроводников и методов физических исследований при выполнении лабораторных работ, анализе и интерпретации их результатов.	Не умеет	Умеет, но допускает значительные ошибки	Умеет, допускает незначительные ошибки	Умеет в совершенстве
Третий этап (навыки)	1. Владеть навыками корректного выполнения измерений основных параметров полупроводников и диэлектриков	Практически не владеет	Владеет слабо, допускает значительные ошибки	Владеет, допускает незначительные ошибки	Владеет в совершенстве

**4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Этапы освоения	Результаты обучения	Компетенция	Оценочные средства
1-й этап Знания	Знать: основные экспериментальные факты и теоретические представления о кристаллической структуре и типах химической связи в полупроводниках и диэлектриках, зонной структуре, статистике электронов и дырок в полупроводниках, механизмах рассеяния носителей заряда, основных кинетических явлениях в полупроводниках и влиянии на них примесей и дефектов, о практическом значении и перспективах применения современных полупроводниковых и диэлектрических материалов.	способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач (ОПК-3);  способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (ПК-1)	Письменная работа Реферат
	Знать методы измерений основных параметров полупроводников	готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований (ПК-3)	Лабораторная работа Письменная работа
2-й этап Умения	Уметь: пользоваться основными законами общей и теоретической физики для анализа физических характеристик полупроводников, предсказывать поведение полупроводников при изменении тех или иных физических и химических факторов	способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач (ОПК-3);  способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (ПК-1)	Лабораторная работа, письменная работа
	Уметь применять знания теории полупроводников и методов физических исследований при выполнении лабораторных работ, анализе и интерпретации их результатов.	готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований (ПК-3)	Лабораторная работа
3-й этап Владеть навыками	1. Владеть экспериментальными методами определения положения уровня Ферми в полупроводниках	способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач (ОПК-3)	Лабораторная работа, письменная работа
	2. Владеть навыками использования классической и квантовой статистики для объяснения кинетических свойств полупроводников	способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (ПК-1)	Лабораторная работа, письменная работа
	3. Владеть навыками корректного выполнения измерений основных параметров полупроводников и диэлектриков	готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований (ПК-3)	Лабораторная работа



### 4.3. Система контроля и оценивания успеваемости студента.

Для контроля освоения компетенций при изучении дисциплины применяется балльно-рейтинговая система. Рейтинг-план дисциплины приведен в приложении №2.

Ниже описаны предусмотренные рейтингом-планом оценочные средства, виды и процедуры контроля.

В рамках использования модульно-рейтинговой системы обучения и оценки успеваемости студентов итоговая оценка знаний студента по дисциплине производится по сумме баллов, полученных в рамках текущего и рубежного контроля знаний, умений и навыков в течение семестра, и баллов, полученных на экзамене.

За работу в семестре студент получает до 70 баллов за выполнение заданий в рамках текущего и рубежного контроля и дополнительно до 10 баллов за результаты участия в олимпиаде студентов по общей физике. Для допуска к экзамену студент должен набрать в семестре не менее 35 баллов.

Максимальное количество баллов, получаемое студентом на экзамене, составляет 30 баллов.

Перевод оценки из 100-балльной в четырехбалльную производится следующим образом:

- отлично – от 80 до 110 баллов (включая 10 поощрительных баллов);
- хорошо – от 60 до 79 баллов;
- удовлетворительно – от 45 до 59 баллов;
- неудовлетворительно – менее 45 баллов.

#### Критерии оценивания ответа на экзамене:

Максимальная оценка – 30 баллов складывается из оценки за ответ на теоретические вопросы билета (два вопроса оцениваются максимально по 10 баллов каждый), и оценок за ответы на дополнительные вопросы (два вопроса, оцениваемых каждый в 5 баллов максимально).

#### За ответы на вопросы билета выставляется

- **18-20 баллов**, если студент дал полные, развернутые ответы на все теоретические вопросы билета, продемонстрировал знание формул, терминологии, понимание физической сути явлений и экспериментов, умение последовательно и логично отвечать на вопросы билета в объеме рекомендованной литературы.

Студент без затруднений ответил на уточняющие вопросы преподавателя по материалам билета.

- **15-17 баллов** выставляется студенту, если студент раскрыл без серьезных ошибок оба теоретических вопроса, однако показал пробелы в знаниях 20-25 % объема билета. Не на все уточняющие вопросы были даны корректные ответы.

- **12-14 баллов** выставляется студенту, если даны ответы на оба теоретических вопроса в объеме 35-50 % от полного ответа. Студентом допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий, законов и формул, описании основных экспериментов. Студент не дает удовлетворительных ответов на уточняющие вопросы по билету.

- **8-11 баллов** выставляется студенту, если ответ на теоретические вопросы свидетельствует о непонимании и крайне неполном знании основных понятий, законов и экспериментов, или полностью отсутствует ответ на один вопрос и допущены серьезные ошибки и пробелы при ответе на второй вопрос. На уточняющие вопросы по билету не получены ответы или ответы на них в корне ошибочны.

- **4-7 баллов** выставляется студенту, если ответ на теоретические вопросы

свидетельствует о непонимании и крайне неполном знании основных понятий, законов и экспериментов, или полностью отсутствует ответ на один вопрос и допущены серьезные ошибки и пробелы при ответе на второй вопрос. На уточняющие вопросы по билету не получены ответы или ответы на них в корне ошибочны.

- **0-3 балла** выставляется студенту, если ответы на вопросы билеты отсутствуют, или полностью отсутствует ответ на один вопрос и допущены грубые ошибки при ответе на второй вопрос, или ответы на оба вопроса содержат много существенных ошибок. Ответы на уточняющие вопросы по билету не получены или свидетельствуют о полном непонимании темы.

### Примерные вопросы для текущего и рубежного контроля

1. Роль полупроводников в современной физике и технике.
2. Классификация полупроводниковых материалов.
3. Особенности кристаллической структуры полупроводников и характер химической связи.
4. Электронная теория проводимости металлов Друде - Лоренца. Основные понятия (подвижность, концентрация, длина свободного пробега, время релаксации носителей заряда).
5. Основные особенности электрических свойств полупроводников.
6. Уравнение Шредингера для кристалла. Адиабатическое и одноэлектронное приближения. Зонное приближение.
7. Волновая функция электрона в периодическом поле. Модель Кронига - Пенни. Спектр электрона, движущегося в периодическом поле.
8. Зоны Бриллюэна.
9. Энергетические зоны. Основные понятия зонной теории (валентная, запрещенная зоны, зона проводимости, дырки, энергетические уровни дефектов и примесей).
10. Изоэнергетические поверхности. Эффективная масса электрона и дырки. Физический смысл эфф. массы.
11. Зонная структура германия и кремния.
12. Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Функция распределения. Термодинамический потенциал. Химический потенциал.
13. Распределение Ферми-Дирака. Уровень Ферми.
14. Распределение Больцмана. Критерий вырождения.
15. Связь концентрации свободных электронов с уровнем Ферми. Интеграл Ферми  $F_{1/2}$ .
16. Плотность состояний в зоне проводимости в отсутствие вырождения носителей.
17. Связь концентрации дырок в валентной зоне с уровнем Ферми. Интеграл Ферми  $F_{1/2}$ .
18. Связь концентрации носителей заряда на локальных уровнях с уровнем Ферми.
19. Уравнение электрической нейтральности для собственного полупроводника. Уровень Ферми в собственном полупроводнике. Зависимость уровня Ферми от температуры.
20. Уравнение электрической нейтральности для полупроводника с однозарядной донорной примесью. Зависимость уровня Ферми от температуры. Истощение примеси.
21. Уравнение электрической нейтральности для полупроводника с однозарядной акцепторной примесью. Зависимость уровня Ферми от температуры. Истощение примеси.
22. Кинетические коэффициенты и способы их определения.
23. Кинетическое уравнение Больцмана.
24. Рассеяние носителей заряда на ионах примеси.
25. Рассеяние носителей заряда на тепловых колебаниях решетки.
26. Элементарные стационарные решения кинетического уравнения в случае малых отклонений (статическая электропроводимость). Дрейфовая подвижность.
27. Элементарные стационарные решения кинетического уравнения в случае малых отклонений – термоэдс.

28. Элементарные стационарные решения кинетического уравнения в случае малых отклонений / Эффект Холла. Холловская подвижность. Применения эффекта Холла.
29. Диэлектрики. Классификация диэлектриков на основе пространственного распределения электронов.
30. Ковалентные кристаллы.
31. Ионные кристаллы. Ионные радиусы.
32. Молекулярные кристаллы. Ван-дер-Ваальсовы силы.
33. Электростатика диэлектриков. Теория локального поля.
34. Теория поляризуемости. Атомная поляризуемость. Поляризуемость смещения. Ориентационная поляризуемость.
35. Диэлектрическая проницаемость и поляризуемость.
36. Диэлектрическая релаксация. Дебаевское время релаксации.
37. Диэлектрическая проницаемость ионных кристаллов.
38. Пироэлектрики.
39. Сегнетоэлектрики.
40. Антисегнетоэлектрики.
41. Пьезоэлектрики.
42. Суперионные проводники (твердые электролиты).

### **Темы, выносимые на самостоятельную проработку**

1. Пироэлектрики.
2. Антисегнетоэлектрики.
3. Пьезоэлектрики.
4. Электропроводимость в сильных полях. Горячие электроны. Влияние поля на подвижность и концентрацию носителей тока.
5. Пробой полупроводника.

### **За ответ на дополнительный вопрос на экзамене выставляется:**

- 5 баллов, если студент дал исчерпывающе полный и правильный ответ;
- 4 балла, если в целом верный ответ содержит незначительные ошибки;
- 3 балла, если дан не в полном объеме или содержит существенную ошибку;
- 2 балла, если дан фрагментарный или расплывчатый ответ или в ответе есть принципиальная ошибка;
- 1 балл, если ответ по существу ошибочен, но студент показал знание основных понятий и терминов по дисциплине, имеющих отношение к вопросу.
- 0 баллов, если студент не ответил или ответил в корне неверно.

Дополнительные вопросы задаются студенту после ответа на вопросы билета.

### **Примеры дополнительных вопросов на экзамене**

1. Как появляются свободные носители заряда в полупроводниках?
2. Какова связь проводимости и подвижности носителей заряда?
3. Дайте определение постоянной Холла.
4. Какова физическая природа эффекта Зеебека?
5. В чем заключается эффект Пельтье?
6. Назовите гальваномагнитные эффекты в полупроводниках.
7. Каковы основные типы химической связи?
8. Каковы условия образования и устойчивости молекул и кристаллов?

9. Что представляют собой некристаллические полупроводники?
10. Какие предположения составляют основу зонного приближения?
11. Что представляет собой волновая функция электрона в периодическом поле?
12. К каким последствиям приводит неоднозначность квазиимпульса электрона?
13. Как определяются границы зон Бриллюэна?
14. Каковы основные отличия энергетических спектров металлов и полупроводников?
15. Как и для чего вводится эффективная масса электронов и дырок?
16. Каковы основные законы дисперсии?
17. Как формируются мелкие примесные уровни в полупроводниках?
18. Что называется плотностью квантовых состояний?
19. Какова зависимость плотности квантовых состояний от энергии?
20. Что называется уровнем Ферми.?
21. Каковы причины различия в статистике носителей тока в невырожденных и вырожденных полупроводниках?
22. Дайте определение эффективной массы плотности состояний.
23. Положение уровня Ферми в собственном полупроводнике.
24. Что представляет собой неравновесная функция распределения?
25. Какие процессы учитываются при выводе кинетического уравнения Больцмана?
26. В чем заключается принцип детального равновесия?
27. Что представляет собой приближение времени релаксации?
28. Перечислите основные механизмы рассеяния носителей тока в полупроводниках.

## Пример экзаменационного билета:

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет»  
Физико-технический институт

Кафедра общей физики

### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

по дисциплине «Физика полупроводников и диэлектриков»  
Направление 03.04.02 «ФИЗИКА»

Программа «Физика конденсированного состояния вещества»

1. Энергетические зоны. Основные понятия зонной теории (валентная, запрещенная зоны, зона проводимости, дырки, энергетические уровни дефектов и примесей).
2. Сегнетоэлектрики.

«Утверждаю»

Заведующий кафедрой



(подпись)

Балапанов М.Х.

(Ф.И.О.)

## Лабораторные работы

### Тематика лабораторных работ

1. Лабораторная работа № 1 «Изучение температурной зависимости сопротивления металлов и полупроводников»;
2. Лабораторная работа № 2 «Изучение эффекта Холла в полупроводниках»;
3. Лабораторная работа № 3 «Измерение ширины запрещенной зоны по краю полосы собственного поглощения света»;
4. Лабораторная работа № 4 «Определение положения уровня Ферми в полупроводнике из измерений электронной термо - э.д.с.»;
5. Лабораторная работа №5 «Изучение электрических свойств p-n перехода»;
6. Лабораторная работа № 8 «Изучение сегнетоэлектриков».
7. Лабораторная работа № 9 «Изучение явления пробоя в диэлектриках»;
8. Лабораторная работа № 10 « Изучение удельных электрических сопротивлений твердых диэлектриков»;
9. Лабораторная работа № 11 «Изучение диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь в твердых диэлектриках».

### Порядок выполнения лабораторных работ

Студент выполняет за отведенное время по учебному плану минимум 6 лабораторных работ. Учебно-методические пособия в лаборатории по каждой лабораторной работе имеются. На выполнение одной лабораторной работы студент должен потратить не менее 4 часов и не более 8 часов аудиторной работы. Под выполнением лабораторной работы

понимается: получение допуска к измерениям (наличие конспекта, понимание цели и заданий к работе, знание устройства и принципа работы лабораторной установки, порядка выполнения измерений и расчетов); выполнение измерений; обработка результатов измерений и выполнение письменного отчета; защита лабораторной работы (интерпретация результатов измерений с учетом погрешностей, ответы на контрольные вопросы к работе).

### **Критерии оценивания выполнения лабораторных работ.**

Получение допуска к измерениям (наличие конспекта, понимание цели и заданий к работе, знание устройства и принципа работы лабораторной установки, знания порядка выполнения измерений и расчетов). Студент получает допуск (и **2 балла**) при выполнении всех требований.

Выполнение измерений (корректность измерений и минимизация погрешностей, наличие таблицы результатов, предварительная оценка результата). Студент получает **0-2 балла** в зависимости от полноты выполнения требований.

Защита отчета оценивается в **0-3 балла** (обработка результатов измерений и составление письменного отчета – 1 балл; объяснение результатов измерений на базе теоретических представлений с учетом погрешностей измерений -1 балл, ответы на контрольные вопросы к работе- 1 балл).

### **Текущий контроль**

В качестве средства текущего контроля применяется проверка конспектов (заданий по самостоятельной работе).

Также оценочными средствами текущего контроля являются получение допуска к лабораторным работам и проверка выполнения измерений, производимые на каждом лабораторном занятии. Критерии оценивания представлены выше, в разделе «Лабораторные работы».

### **Критерии оценивания конспектов.**

Проверка конспектов по самостоятельной работе с литературой проводится 10 раз за семестр. Студент получает **1 балл** при проверке, если им выполнена краткая запись содержания заданной для проработки литературы по данной теме дисциплины.

## **Рубежный контроль**

### **Подготовка и защита реферата**

Подготовка и защита реферата применяется как средство рубежного контроля по освоению модуля «Диэлектрики» изучаемой дисциплины. Требования к реферату – объем до 20 страниц формата А4, шрифт 12-14 пт, полтора интервала. Структура реферата – оглавление, введение, основной текст реферата (краткая история исследований, современное состояние проблемы, техническая реализация устройства, практическое применение, перспективы), заключение, список литературы. Студенты сами выбирают тему реферата из предложенного списка.

#### **Критерии оценивания реферата:**

Максимальная оценка в 5 баллов включает:

Выдержана рекомендуемая структура и объем реферата – 0.5 балла;

Использована современная литература по теме, включая монографии и научные статьи – 1 балл;

Выступление с презентацией и ответы на вопросы – 2 балла;

Оформление работы (наличие иллюстраций, формул, корректность цитирования) – 0.5 балла;

Наличие анализа современного состояния проблемы и наличия перспектив дальнейших исследований – 1 балл.

#### **Темы рефератов.**

1. Жидкие кристаллы
2. Пирозлектрики
3. Электреты
4. Ионные кристаллы
5. Твердые электролиты
6. Суперионные проводники
7. Применение суперионных проводников в современных аккумуляторах
8. Тензодатчики
9. Пьезоэлектрики и их практическое применение
10. Сегнетоэлектрические кристаллы
11. Плазмонный резонанс
12. Фотополяризация в диэлектриках
13. Поляронная проводимость
14. Обратимый пробой в диэлектриках и его применение в электронике
15. Туннельные диоды и их применение в электронике

#### **Письменная работа.**

Письменная работа применяется как средство рубежного контроля по освоению второго модуля изучаемой дисциплины и состоит из 7 заданий, требующих ответа на теоретический вопрос или решения задачи. Письменная работа рассчитана на 45 минут. Каждое задание оценивается в 1 балл.

## Примеры заданий письменной работы

### *Вариант №1*

1. Какой тип химической связи характерен для полупроводников?
2. В чем смысл адиабатического приближения?
3. От каких параметров полупроводника зависит значение эффективной массы дырок и электронов?
4. Как зависит от температуры положение уровня Ферми в собственном полупроводнике?
5. Как можно измерить концентрацию носителей тока?
6. Укажите на графике температурной зависимости проводимости полупроводника области собственной проводимости, истощения примесей, примесной проводимости.
7. Что называется фактором рассеяния (в выражении для времени релаксации) ?

### *Вариант №2*

1. Назовите основные промышленно важные полупроводники.
2. Приведите примеры кинетических коэффициентов полупроводника.
3. Где располагается уровень Ферми при  $T=0$  К в полупроводнике с донорной примесью?
4. Для чего используется эффект Холла?
5. Что означает участок половинного наклона в температурной зависимости компенсированного полупроводника?
6. Какой параметр полупроводника определяется интегралом Ферми  $F_{1/2}$  в физике полупроводников?
7. Как зависит от температуры подвижность носителей в невырожденном полупроводнике с преобладанием двух механизмов рассеяния: на ионах примеси и акустических фононах?



## 5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

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

#### Основная литература:

1. Зегря, Георгий Георгиевич. Основы физики полупроводников : учеб. пособие / Г. Г. Зегря, В. И. Перель .— М. : Физматлит, 2009 .— 336 с. [В библи. БашГУ 5 экз.]

Зегря Г.Г. Основы физики полупроводников [Электронный ресурс] / Зегря Г. Г. — М. : Физматлит, 2009 .— 334 с. — Доступ к тексту электронного издания возможен через Электронно-библиотечную систему «Университетская библиотека online .— ISBN 978-5-9221-1005-1 .— <URL:<http://www.biblioclub.ru/book/68394/>>.

2. Шалимова, Клавдия Васильевна. Физика полупроводников : учебник / К. В. Шалимова .— Изд. 4-е, стер. — СПб. : Лань, 2010 .— 400 с. [В библи. БашГУ 10 экз. ]

Шалимова К.В. Физика полупроводников [Электронный ресурс] : учебник / К.В. Шалимова .— Изд. 4-е, стер. — СПб. [и др.] : Лань, 2010 .— 390, [1] с. : ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература) .— Предм. указ.: с.383-387 .— Доступ к тексту электронного издания возможен через Электронно-библиотечную систему издательства "Лань" .— ISBN 978-5-8114-0922-8 .— <URL:[http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_id=648](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=648)>.

#### Дополнительная литература:

3. Ансельм А. И. Введение в теорию полупроводников : учеб. пособие / А. Н. Ансельм .— 3-е изд., стер. — СПб. : Лань, 2008 .— 624 с. **10 экз.**

Ансельм, А.Н.. Введение в теорию полупроводников [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. Н. Ансельм .— 3-е изд., стер. — СПб. : Лань, 2008 .— 624 с. — (Классическая учебная литература по физике) (Лучшие классические учебники) .— Доступ к тексту электронного издания возможен через Электронно-библиотечную систему издательства "Лань" <URL:[http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_id=693](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=693)>.

4. Смит, Р. Полупроводники / Р. Смит ; пер. с англ. под ред. Н. А. Пенина .— Изд. 2-е, перераб. и доп. — М. : Изд-во иностр. лит-ры, 1982 .— 560 с. **18 экз**

5. Бонч-Бруевич, В. Л. Сборник задач по физике полупроводников : учебное пособие / В. Л. Бонч-Бруевич [и др.] .— Изд. 2-е, перераб. и доп. — М. : Наука, 1987 .— 143 с. **5 экз.**

6. Поплавко Ю. М. Физика активных диэлектриков [Электронный ресурс] / Ю.М. Поплавко ; Л.П. Переверзева ; И.П. Раевский .— Ростов-н/Д : Издательство Южного федерального университета, 2009 .— 480 с. — ISBN 978-5-9275-0636-1 .— <URL:<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240943>>.

7. Томилин В.И. Физическое материаловедение. В 2 частях: учебное пособие, Ч. 1. Пассивные диэлектрики [Электронный ресурс] / В.И. Томилин, Н.П. Томилина, В.А. Бахтина .— Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2012 .— 280 с. — Доступ к тексту электронного издания возможен через Электронно-библиотечную систему «Университетская библиотека online» .— ISBN 978-5-211-05497-4 .— <URL:<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=229343&sr=1>>.

8. Карамов Ф.А.. Суперионные проводники : гетероструктуры и элементы функциональной электроники на их основе / Ф. А. Карамов ; Казанский гос. тех. ун-т им. А. Н. Туполева .— Москва : Наука, 2002 .— 237 с. [В библи. БашГУ 5 экз.]

## **5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины**

1. Электронная библиотечная система. ЭБ БашГУ. — Собственная электронная библиотека учебных и научных электронных изданий, которая включает издания преподавателей БашГУ. Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет. Регистрация в Библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет. — <https://elib.bashedu.ru/>

2. Электронная библиотечная система .Университетская библиотека онлайн. — Полнотекстовая БД учебных и научных электронных изданий. Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет. Регистрация в Библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет. —<https://biblioclub.ru/>

3. Электронная библиотечная система издательства .Лань. — Полнотекстовая БД учебных и научных электронных изданий. Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет. Регистрация в Библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет. — <https://e.lanbook.com/>

4. Электронный каталог Библиотеки БашГУ — Справочно-поисковый аппарат библиотеки. Включает в себя систему каталогов и картотек, справочно-библиографический фонд. — <http://www.bashlib.ru/catalogi/>

## 6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине приведена в таблице:

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
1	2	3
учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа: № 318 (физмат корпус)	Лекции	Доска, компьютер, мультимедийный проектор, экран Программное обеспечение: 1. Windows 8 Russian. Windows Professional 8 Russian Upgrade. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 104 от 17.06.2013 г. 2. Microsoft Office Standard 2013 Russian. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 114 от 12.11.2014 г.
учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа: № 315 (физмат корпус)	лабораторные занятия	Установка для изучение эффекта Холла в полупроводниках ФПК-08 Установка для изучения температурной зависимости электропроводности металлов и полупроводников ФПК-07 Установка для изучения p-n перехода ФПК-06 Лаб. стенд «Изучение удельного электрического сопротивления твердых диэлектриков» МВ003. Инв.000002101046616 Лаб. стенд "Изучение электрической прочности твердых диэлектриков" МВ-002. Инв.000002101046706 Лабораторный стенд «Изучение диэлектрический проницаемости и диэлектрических потерь в твердых диэлектриках» МВ-004. инв. 000002101046617 Автоматическая лабораторная установка для исследования магнитомягких материалов инв. 000002101046475 Автоматическая лабораторная установка для исследования проводников инв. 000002101046476 Автоматическая лабораторная установка для исследования сегнетоэлектриков Генератор низкочастотных сигналов ГЗ-118 Генератор сигналов низкочастотный прецизионный ГЗ-122 Измеритель добротности высокочастотный Е4-11 Измеритель RLC Е7-22 инв. 000002101046620 Измеритель RLC Е7-22 инв. 000002101046618 Измеритель RLC Е7-22 инв. 000002101046619 Осциллограф INSTEK GOS-620 Осциллограф INSTEK GFG-8215А Осциллограф INSTEK GFG-8219А Мультиметр Ц4311

		<p>Мультиметр MASTECH MAS 830B  Селективный нановольтметр Type237  Оптическая скамья  Монохроматор универсальный  Осветитель оптический  Сахариметр СУ-4  Блок питания TEC88, 30 В, 2А  Реостат РПШ 0,6; 500 Ом  Реостат РПШ 0,2; 5000 Ом  Набор резисторов  Набор транзисторов  Набор полупроводниковых диодов  Паяльник электрический 30 Вт  Экран на штативе Medium инв.  000001101044730  Интерактивная доска Hitachi FX-63WD  инв.000002101046909  Персональный компьютер Моноблок  ThinkCentre  Принтер HP LaserJet 1018  Учебная мебель  Программное обеспечение:  1. Windows 8 Russian. Windows Professional 8 Russian  Upgrade. Лицензия OLP NL Academic Edition,  бессрочная. Договор № 104 от 17.06.2013 г.  2. Microsoft Office Standard 2013 Russian.  Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная.  Договор № 114 от 12.11.2014 г.</p>
Читальный зал №1 (главный корпус, 1 этаж)	Самостоятельная работа	Научный и учебный фонд, научная периодика, ПК (моноблок) - 3 шт, Wi-Fi доступ для мобильных устройств, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 76.
Читальный зал №2 (корпус физмата, 2 этаж)	Самостоятельная работа	Научный и учебный фонд, научная периодика, Wi-Fi доступ для мобильных устройств, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 50.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ**

дисциплины «Физика полупроводников и диэлектриков» на 7 семестр  
(наименование дисциплины)

очная

форма обучения

Вид работы	Объем дисциплины
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	5/180
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	55.7
лекций	18
практических/ семинарских	-
лабораторных	36
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем) (ФКР)	1.7
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР)	62.5
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль)	61.8

Форма контроля:

экзамен 7 семестр

№ п.п.	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)				Основная и дополнительная литература, рекомендуемая студентам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе студентов (СРС)	Форма контроля успеваемости
		ЛК	ПР/СЕМ	ЛР	СР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Модуль 1. Основы физики полупроводников.</b>								
1	<b>Введение. Полупроводники.</b> Роль полупроводников в современной физике и технике. Классификация полупроводниковых материалов. Особенности их кристаллической структуры и характер химической связи. Основные особенности электрических свойств полупроводников. Основы теории проводимости металлов. Подвижность носителей заряда. Формула Друде-Лоренца. Длина свободного пробега. Время релаксации. Нарушение закона Ома в сильных электрических полях. Основные понятия физики полупроводников. Зоны. Электроны проводимости. Дырки. Собственная проводимость. Примесная проводимость. Акцепторы. Доноры.	2		4	5	1, 2, 4	2 (8.4-8.6)	Проверка конспектов Лабораторная работа Письменная работа
2	<b>Элементы зонной теории твердого тела.</b> Зонное приближение. Адиабатическое приближение. Физический смысл приближений сильно связанных и слабо связанных электронов. Волновая функция электрона в периодическом поле. Модель Кронига - Пенни. Уравнение Шредингера для кристалла. Спектр электрона, движущегося в периодическом поле. Энергетические зоны. Метод сильно связанных электронов ("размывание дискретного атомного уровня в зону.") Изоэнергетические поверхности. Особенности образования энергетических зон в кристалле (неперекрывающиеся и прерывающиеся зоны, смыкающиеся зоны, вырождение зон, от квазиимпульса, зона проводимости, валентная и запрещенная зоны).	2			5	2 (13.1-13.3)	2 (13.4)	Проверка конспектов Письменная работа

	Зонная структура германия и кремния. Энергетические уровни дефектов и примесей в полупроводниках.							
3	<b>Статистика электронов и дырок в полупроводниках.</b> Статистика Ферми-Дирака. Распределение квантовых состояний в зонах. Случаи невырожденных и сильно вырожденных полупроводников, критерии вырождения. Эффективная масса плотности состояний. Уравнение электрической нейтральности. Уровень Ферми в собственном и примесном полупроводнике. Зависимость уровня Ферми от температуры. Концентрации электронов и дырок на локальных уровнях. Простые центры. Взаимная компенсация доноров и акцепторов. Компенсирующие полупроводники.	3		8	5	2, 5	2, 5	Письменная работа Проверка конспектов Лабораторная работа
4	<b>Кинетические явления в полупроводниках.</b> Кинетические коэффициенты и способы их определения. Кинетическое уравнение Больцмана. Интеграл столкновений для рассеяния частиц на дефектах решетки и друг на друге. Термодинамическое равновесие. Принцип детального равновесия. Время релаксации. Элементарные стационарные решения кинетического уравнения в случае малых отклонений (статическая электропроводимость, термоэдс и коэффициент Пельтье, постоянная Холла магнетосопротивление).	3		8	5	3( 380-387)	2(9.3-9.4)	Проверка конспектов Лабораторная работа Письменная работа
5	Электропроводимость в сильных полях. Горячие электроны. Влияние поля на подвижность и концентрацию носителей тока. Пробой полупроводника.	1		4	5	3 (387-394) 1(8.5.1)	2(9.5-9.11)	Выборочный опрос Лабораторная работа Письменная работа
6	Эффект Холла. Измерение эффекта Холла. Постоянная Холла. Применения эффекта Холла.	1		4	5	2 (9.12-9.14)	2( 9.14)	Проверка конспектов Письменная работа Лабораторная работа
7	Контактные явления в полупроводниках. Полупроводник во внешнем электрическом поле. Контакт металл — металл. Контактная разность потенциалов. Контакт металл — полупроводник Выпрямление тока в контакте металл — полупроводник Контакт электронного и дырочного полупроводников Выпрямление тока в p-n переходе Теория тонкого p-n перехода. n <sup>+</sup> -n и p <sup>+</sup> -p переходы. Гетеропереходы. Контакт вырожденных электронного и дырочного	1		4	6.5	2 (9.1-9.11)	2 (9.1-9.11)	Лабораторная работа Проверка конспектов Письменная работа

	полупроводников. Туннельный диод. Омический переход.							
<b>Модуль 2. Диэлектрики.</b>								
8	Классификация диэлектриков. Ковалентные кристаллы. Молекулярные кристаллы. Ионные кристаллы.	1			5	4, 6, 7	6, 7	Проверка конспектов Реферат
9	Диэлектрические свойства изоляторов.	1			5	7	7	Проверка конспектов Реферат
10	Сегнетоэлектрики. Пирозэлектрики. Пьезоэлектрики.	1		4	6	6	6	Проверка конспектов Лабораторная работа реферат
11	Суперионные проводники.	1			5	8	8	Выборочный опрос Реферат
12	Жидкие кристаллы.	1			5	6	6	Проверка конспектов реферат
	Всего часов:	18	-	36	62.5			
	ФКР:	1.7 часов						
	Контроль:	61.8 часов						
	<b>ИТОГО :</b>	180 часов						

*Примечание 1.* Сокращение в таблице: КР – контрольная работа.



**Рейтинг – план дисциплины**

«Физика полупроводников и диэлектриков»

(название дисциплины согласно рабочему учебному плану)

направление 03.03.02 «Физика»,

профиль «Физика конденсированного состояния вещества»

курс 4, семестр 7

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Миним.	Максим.
<b>Модуль 1. Физика диэлектриков</b>				
<b>Текущий контроль</b>			<b>0</b>	<b>12</b>
1. Проверка конспектов	1	4	0	4
2. Допуск к лаб. раб.	2	2	0	4
3. Выполнение лаб. работ	2	2	0	4
<b>Рубежный контроль</b>			<b>0</b>	<b>13</b>
1. Защита отчетов по лабораторным работам	3	2	0	6
2. Защита реферата	1	7	0	7
<b>Модуль 2. Физика полупроводников</b>				
<b>Текущий контроль</b>			<b>0</b>	<b>28</b>
1. Проверка конспектов	1	6	0	6
2. Письменная работа 2	1	6	0	6
2. Допуск к лаб. раб.	2	4	0	8
3. Выполнение лаб. работ	2	4	0	8
<b>Рубежный контроль</b>			<b>0</b>	<b>17</b>
1. Защита отчётов по лабораторным работам	3	4	0	12
1. Письменная работа	5	1	0	5
<b>Итоговый контроль</b>			<b>0</b>	<b>30</b>
1. Экзамен	<b>10</b>	1 вопрос	0	30
	<b>10</b>	2 вопрос	0	
	<b>5 6x2=106</b>	Доп. вопросы	0	
<b>Поощрительные баллы</b>				
1. Участие на научных конференциях с докладом по физике полупроводников			5	10