

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета радиотехники
и электроники

_____ В.А. Небольсин

_____ 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
«Физика конденсированного состояния»

Направление подготовки 28.03.02 Наноинженерия

Профиль Инженерные нанотехнологии в приборостроении

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2017

Автор программы _____ /С.И. Рембеза/

Заведующий кафедрой
полупроводниковой электроники
и наноэлектроники _____ /С.И. Рембеза/

Руководитель ОПОП _____ /Г.И. Липатов/

Воронеж 2017

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины:

формирование у обучающихся научной основы для осознанного и целенаправленного использования свойств твердых тел при создании элементов, приборов и устройств микросистемной техники.

1.2. Задачи освоения дисциплины:

расширение научного кругозора и эрудиции студентов на базе изучения фундаментальных результатов физики твердого тела и способов практического использования свойств твердых тел;

развитие понимания взаимосвязи структуры и состава твердых тел и многообразия их физических свойств;

практическое овладение методами теоретического описания и основными теоретическими моделями твердого тела, навыками постановки физического эксперимента по изучению свойств твердых тел и основными экспериментальными методиками;

создание основы для последующего изучения физики полупроводниковых приборов, включая элементы и приборы нанoeлектроники, физики низкоразмерных систем, твердотельной электроники и технологии микро- и нанoeлектроники.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.В.ОД.8 «Физика конденсированного состояния» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1 учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Физика конденсированного состояния» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1 — Способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и экспериментального исследования;

ПК-3 — Способность проводить информационный поиск по отдельным объектам исследований;

ПКВ-3 — Готовность в составе коллектива исполнителей участвовать в исследовании физических принципов работы компонентов микро- и наносистемной техники, возможностей и характеристик используемых материалов.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	знает классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории; основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел
	умеет объяснять сущность физических явлений и процессов в твердых телах; делать количественные оценки параметров физических

	процессов
	владеет методами экспериментальных исследований параметров и характеристик материалов микро- и наноэлектроники
ПК-3	знает виды информационных систем, в том числе в Интернете, по поиску параметров исследований
	умеет пользоваться существующими информационными системами
	владеет методами анализа информационных систем
ПКВ-3	знает методы исследования параметров материалов и компонентов электронной техники
	умеет использовать измерительные и аналитические приборы и методы исследования
	владеет методами обработки и анализа результатов измерений

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Физика конденсированного состояния» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
Аудиторные занятия (всего)	72	72
В том числе:		
Лекции	36	36
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
Практические занятия	18	18
Самостоятельная работа	72	72
Курсовая работа	+	+
Время на контроль	36	36
Вид промежуточной аттестации — экзамен	+	+
Общая трудоемкость академические часы	180	180
з.е.	5	5

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекции	Лаб. зан.	Пр. зан.	СРС	Всего, час
1	Межатомные связи и строение кристалли-	Место курса в ряду других дисциплин. Методология рассмотрения явлений в физике конденсированного состояния. Межатомное взаимодействие и энергия связи	6	-	-	10	16

	ческих решеток	атомов. Типы связей в твердых телах и их физическая природа. Природа и свойства Ван-дер-Ваальсовой связи. Ионная связь, ее природа и свойства. Ковалентная связь, ее природа и свойства. Металлическая связь, ее природа и свойства. Влияние типа связи на свойства твердых тел и строение кристаллов. Решетки Браве и элементы симметрии кристаллов. Структура кристаллов. Координаты атомов, обозначения плоскостей и направлений в кристаллах.					
2	Структура и дефекты в кристалле	Дифракция рентгеновского излучения и частиц высоких энергий в кристаллах. Условие Вульф-Бреггов для одномерной и трехмерной кристаллических решеток. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Экспериментальные рентгеновские методы исследований структуры кристаллов. Метод Лауэ и его особенности. Метод Дебая-Шерера и его особенности. Дефекты в твердых телах и их классификация. Термодинамически равновесная концентрация точечных дефектов. Радиационные дефекты. Дислокации, их образование и свойства.	6	4	4	10	24
3	Механические свойства твердых тел	Диаграмма напряжение-деформация. Виды деформаций. Упругая деформация. Закон Гука. Модуль Юнга. Тензор деформаций. Пластическая деформация. Скольжение и переползание дислокаций. Формула Шмита. Физический смысл понятия «твердость». Шкала Мооса. Методы определения твердости. Микротвердость.	6	6	6	13	31
4	Физические свойства диэлектриков	Макроскопические характеристики диэлектриков. Механизмы упругой поляризации диэлектриков (электронный, ионный и ориентационный). Частотная зависимость диэлектрической проницаемости. Диэлектрические потери и их механизмы. Диэлектрические свойства кристаллов и тензор диэлектрической проницаемости. Пьезоэлектрики. Прямой и обратный пьезоэффект. Сегнетоэлектрики, природа сегнетоэлектричества. Практическое применение пьезоэлектриков и сегнетоэлектриков.	6	4	4	15	29
5	Магнитные свойства твердых тел	Природа и свойства диамагнетизма, парамагнетизма и ферромагнетизма. Практическое использование магнетиков в науке и технике. Сверхпроводимость твердых тел. Теория сверхпроводимости Бардина-Купера—Шриффера. Свойства сверхпро-	8	-	-	10	18

		водников: эффект Мейсснера, флюксоны, сверхпроводники первого и второго рода. Высокотемпературная сверхпроводимость. Механизмы высокотемпературной сверхпроводимости. Свойства высокотемпературных сверхпроводников. Практическое применение сверхпроводящих керамик.					
6	Оптические свойства твердых тел	Законы сохранения в оптике. Закон Бугера-Ламберта. Механизмы поглощения света при межзонных оптических переходах. Поглощение света прямозонными и не прямозонными полупроводниками и диэлектриками. Электронное поглощение света. Поглощение света в полупроводниках с участием примесных уровней. Поглощение света на свободных электронах. Решеточное поглощение света. Полный спектр поглощения света полупроводником.	4	4	4	14	26
Контроль							36
Итого			36	18	18	72	180

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Измерение микротвердости твердых тел
2. Тепловое расширение и теплопроводность твердых тел
3. Определение диэлектрической проницаемости разных веществ
4. Анализ спектров пропускания и поглощения

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Физика конденсированного состояния» предусматривает выполнение курсовой работы в 5 семестре для очной формы обучения.

Примерные темы курсовых работ:

1. Виды энергии взаимодействия атомов в твердых телах и их характеристики.
2. Природа и особенности гетерополярной связи атомов.
3. Природа и особенности ковалентной связи атомов.
4. Температурная зависимость электросопротивления твердых тел (металлы, полупроводники и диэлектрики).
5. Трехмерные решетки Браве. Структура кристаллов.
6. Индексы Миллера плоскостей кристалла, координаты атомов.
7. Дифракция рентгеновских лучей в одномерном и трехмерном случаях.
8. Методы рентгеновского анализа монокристаллов.
9. Рентгеновский анализ поликристаллов.
10. Виды дефектов в твердых телах.

11. Термодинамически равновесная концентрация тепловых дефектов в твердых телах.
12. Влияние точечных дефектов в полупроводниках на их электрические свойства.
13. Дислокации и их характеристики. Вектор Бюргерса.
14. Упругая деформация твердых тел и ее физическая природа.
15. Пластическая деформация твердых тел.
16. Твердость и хрупкое разрушение кристаллов.
17. Спектр тепловых колебаний атомов твердых тел.
18. Теплоемкость твердых тел. Температура Дебая.
19. Тепловое расширение твердых тел.
20. Теплопроводность твердых тел.
21. Диффузия в твердых телах. Законы Фика.
22. Диффузия примесей в полупроводниках. Распределение примесей, *p-n* переход.
23. Механизмы упругой поляризации диэлектриков.
24. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости диэлектриков.
25. Тангенс угла диэлектрических потерь. Механизм потерь.
26. Диэлектрические свойства кристаллов. Пьезоэлектрический эффект.
27. Пьезоэлектрические материалы. Практическое применение пьезоэффекта.
28. Сегнетоэлектричество, природа эффекта и свойства сегнетоэлектриков.
29. Практическое применение сегнетоэлектриков.
30. Физическая природа магнетизма твердых тел. Виды магнетиков.
31. Физическая природа парамагнетизма. Практическое применение парамагнетиков.
32. Физическая природа ферромагнетизма. Применение ферромагнетиков.
33. Ядерный магнитный резонанс и его применение.
34. Сверхпроводимость твердых тел и ее природа. Свойства сверхпроводников.
35. Высокотемпературная сверхпроводимость ее природа и применение.

Курсовая работа включает в себя расчетно-пояснительную записку.

Учебным планом по дисциплине «Физика конденсированного состояния» не предусмотрено выполнение контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-1	знает классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории; основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел	Активная работа на практических занятиях, отвечает на вопросы при защите курсовой работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	умеет объяснять сущность физических явлений и процессов в твердых телах; делать количественные оценки параметров физических процессов	Решение стандартных практических задач, написание курсовой работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеет методами экспериментальных исследований параметров и характеристик материалов микро- и нанoeлектроники	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, написание курсовой работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-3	знает виды информационных систем, в том числе в интернете, по поиску параметров исследований	Активная работа на практических занятиях, отвечает на вопросы при защите курсовой работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	умеет пользоваться существующими информационными системами	Решение стандартных практических задач, написание курсовой работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеет методами анализа информационных систем	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, написание курсовой работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПКВ-3	знает методы исследования параметров материалов и компонентов электронной техники	Активная работа на практических занятиях, отвечает на вопросы при защите курсовой работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	умеет использовать измерительные и аналитические приборы и методы исследования	Решение стандартных практических задач, написание	Выполнение работ в срок, предусмотрен-	Невыполнение работ в срок, предусмотрен-

		курсовой работы	ный в рабочих программах	ный в рабочих программах
	владеет методами обработки и анализа результатов измерений	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, написание курсовой работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5 семестре для очной формы обучения по системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл	Неудовл
ОПК-1	знает классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории; основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	умеет объяснять сущность физических явлений и процессов в твердых телах; делать количественные оценки параметров физических процессов	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	владеет методами экспериментальных исследований параметров и характеристик материалов микро- и наноэлектроники	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
ПК-3	знает виды информационных систем, в том числе в интернете, по поиску параметров исследований	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	умеет пользоваться существующими информационными системами	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	владеет методами анализа информационных систем	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов

			%	%		тов
ПКВ-3	знает методы исследования параметров материалов и компонентов электронной техники	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	умеет использовать измерительные и аналитические приборы и методы исследования	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	владеет методами обработки и анализа результатов измерений	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

- Типы межатомных связей определяются:
 - размерами взаимодействующих атомов;
 - структурой электронных оболочек атомов;
 - валентностью атомов;
 - квантово-механическим взаимодействием атомов.
- Решетки Браве характеризуют:
 - геометрическое расположение атомов в кристалле;
 - структуру кристалла вещества;
 - свойства симметрии кристалла;
 - анизотропию кристаллической решетки.
- Структура кристалла вещества определяется:
 - решеткой Браве и координатами ближайших атомов;
 - решеткой Браве кристалла;
 - типом связей атомов в кристалле;
 - свойствами симметрии кристалла.
- Термодинамически равновесными точечными дефектами в твердом теле являются:
 - трансмутационные;
 - радиационные;
 - термические;
 - ионно-имплантированные.
- Термодинамически равновесные точечные дефекты в кристаллах возникают:

- 1) под действием света;
 - 2) при пластической деформации;
 - 3) под действием температуры;
 - 4) при радиационном воздействии.
6. Точечный дефект по Шоттки в кристалле – это:
- 1) примесный атом в кристалле;
 - 2) атом в междоузлии;
 - 3) вакансия и атом в междоузлии;
 - 4) вакансия.
7. Электропроводимость полупроводников с ростом температуры:
- 1) изменяется скачком;
 - 2) плавно уменьшаются;
 - 3) имеет активационный характер;
 - 4) не изменяется.
8. Причиной роста электросопротивления металлов с температурой является:
- 1) уменьшение подвижности носителей зарядов;
 - 2) уменьшение концентрации носителей зарядов;
 - 3) увеличение подвижности носителей зарядов;
 - 4) постоянное значение концентрации электронов.
9. Дифракция рентгеновских лучей в кристалле наблюдается потому, что:
- 1) длина волны излучения соизмерима с межатомными расстояниями;
 - 2) длина волны излучения гораздо больше межатомных расстояний;
 - 3) длина волны излучения намного меньше межатомных расстояний;
 - 4) рентгеновские лучи не преломляются в кристалле.
10. С помощью формулы Вульфа-Бреггов можно определить:
- 1) межплоскостные расстояния в кристалле;
 - 2) размеры атомов в кристалле;
 - 3) симметрию кристаллической решетки;
 - 4) расстояние между атомами в кристалле.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Известно, что в кристалле, в котором связи обусловлены силами Ван-дер-Ваальса, равновесное межатомное расстояние $r_0 = 0,15$ нм, а энергия на 10 % меньше, чем в случае, когда учитываются только силы притяжения. Чему равна характерная длина ρ , входящая в выражение для энергии

2. Определить, сколько атомов приходится на одну элементарную ячейку в кристаллах с простой, ОЦК, ГЦК и алмазной решеткой.

3. При диффузии из неограниченного источника в течение $t = 1000$ с концентрация примеси на глубине $x = 4$ мкм составляет $0,888 N_0$, где N_0 – концентрация примеси на поверхности. Определить коэффициент диффузии примеси.

4. На дебаеграмме первая линия (от 0°), полученная отражением от системы плоскостей (111) в кристалле меди, соответствует углу дифракции $2\Theta = 43^\circ$, где Θ – угол Брегга. Чему равен период решетки меди, если длина волны рентгеновских лучей $0,154$ нм? Чему равен атомный радиус меди?

5. На дебаеграмме некоторого кубического кристалла, снятой на излучении меди K_α ($\lambda = 0,1542$ нм), видны линии под углами Брегга Θ : $12,3$; $14,1$; $20,2$; $24,0$; $25,1$; $29,3$; $32,2$ и $33,1^\circ$. Проиндцировать эти линии. Определить, является ли эта решетка примитивной, ГЦК, ОЦК и вычислить длину ребра ячейки.

6. Определить среднюю энергию линейного одномерного квантового осциллятора при температуре $T = \Theta_E$ ($\Theta_E = 200$ К), где Θ_E – характеристическая температура Эйнштейна.

7. Найти энергию фонона, соответствующего граничной частоте Дебая (ω_{max}), если характеристическая температура Дебая $\Theta_D = 250$ К.

8. Вычислить среднюю длину свободного пробега фононов в кварце (двуокиси кремния) при некоторой температуре, если при той же температуре: коэффициент теплопроводности $\lambda = 13$ Вт/(м·К), киломолярная теплоемкость $c = 44$ кДж/(кмоль·К) и усредненное значение скорости звука $v = 5 \cdot 10^3$ м/с. Плотность кварца $\rho = 2,65 \cdot 10^3$ кг/м³.

9. Определить, на сколько процентов изменится межатомное расстояние в твердом теле (при нагревании его до $T = 400$ К) по сравнению с равновесным расстоянием $r_0 = 3$ Å, отвечающим минимуму потенциальной энергии. При расчетах принять коэффициент ангармоничности $\gamma = \beta/(2r_0)$, где β – коэффициент гармоничности. Значение модуля Юнга $E = 10$ ГН/м².

10. Определить температуру, при которой вероятность нахождения электрона с энергией $E = 0,5$ эВ выше уровня Ферми в металле равна 1 %.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Определить, как и во сколько раз изменится вероятность заполнения электронами в металле энергетического уровня, расположенного на $0,1$ эВ выше уровня Ферми, если температуру металла повысить от 300 до 1000 К.

2. Вычислить вероятность заполнения электронами энергетического уровня, расположенного на $10 kT$ выше уровня Ферми. Как изменится вероятность заполнения этого уровня электронами, если температуру увеличить в два раза?

3. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено диэлектриком, молекулы которого можно рассматривать как жесткие диполи с электрическим моментом $p = 1$ Д. Концентрация диполей $n = 10^{26}$ м⁻³. До заполнения пространства между пластинами диэлектриком напряженность электрического поля была 10^8 В/м. Определить среднее значение напряженности поля внутри конденсатора при заполнении его та-

ким диэлектриком.

4. Кристалл с кубической решеткой имеет диэлектрическую восприимчивость $\chi = 0,75$. Определить диэлектрическую проницаемость ε кристалла.

5. Вычислить ориентационную поляризуемость α_{op} молекул воды, находящихся при температуре 27 °С, если электрический момент молекул $p_0 = 1,87$ Д.

6. Расстояние между пластинами конденсатора 2 мм, разность потенциалов 1,8 кВ. диэлектрик – стекло ($\varepsilon = 4$). Определить диэлектрическую восприимчивость стекла и поверхностную плотность поляризованных (связанных) зарядов на поверхности стекла.

7. Диамагнитная восприимчивость меди $k_m = -9,5 \cdot 10^{-6}$. Определить намагниченность и магнитную индукцию в медном проводе при воздействии на него однородного магнитного поля напряженностью 1000 А/м. Укажите, как ориентированы векторы намагниченности и магнитной индукции друг относительно друга.

8. При напряженности магнитного поля $H = 10^4$ А/м магнитная индукция в висмуте $B = 12,564$ мТл. Определить магнитную восприимчивость вещества. Сделать вывод о природе намагниченности. При вычислении использовать $\pi = 3,1416$.

9. Магнитная индукция насыщения металлического никеля, имеющего плотность 8960 кг/м³, равна 0,65 Тл. Определить магнитный момент, приходящийся на один атом никеля (в магнетонах Бора).

10. В спектрах ЭПР разность энергий двух уровней α и γ определяется соотношением $\Delta E = g\mu_B\mu_0H$. Отношение населенностей этих уровней электронами равно $N_\alpha/N_\gamma = \exp(\Delta E/kT)$. Вычислить отношение N_α/N_γ для электронных спинов ($g = 2$, μ_B – магнетон Бора) в магнитном поле 10^4 Э при температуре 300 К.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Потенциальная энергия межатомного взаимодействия в молекуле.
2. Основные типы межатомных связей и их природа.
3. Ионная связь и ее особенности.
4. Ковалентная связь и ее особенности.
5. Образование кристаллов и формы кристаллов.
6. Геометрия кристаллов. Решетки Браве.
7. Структура кристаллов. Базис кристаллов и плоскостей.
8. Рентгеновские лучи, дифракция, формула Вульфа-Бреггов.
9. Метод Лауэ исследования структуры монокристаллов.
10. Метод Дебая—Шерера определения структуры поликристаллов.
11. Виды дефектов в кристаллах твердых тел.
12. Термодинамически равновесная концентрация точечных дефектов.

13. Влияние дефектов на электрические свойства твердых тел.
14. Дислокации и их характеристики. Вектор Бюргерса.
15. Упругая деформация твердых тел и ее природа.
16. Пластическая деформация твердых тел и ее природа.
17. Твердость и хрупкое разрушение.
18. Физический смысл кривой напряжение-деформация.
19. Спектр тепловых колебаний атомов кристалла.
20. Теплостойкость твердых тел.
21. Тепловое расширение твердых тел.
22. Теплопроводность твердых тел.
23. Диффузия атомов в кристалле. Уравнение Фика.
24. Решение уравнения Фика для бесконечного и ограниченного источников примеси.
25. Создание *p-n* перехода в полупроводниках, распределение примеси.
26. Поляризация диэлектриков, диэлектрическая постоянная.
27. Механизмы упругой поляризации диэлектриков.
28. Тангенс угла диэлектрических потерь. Механизм потерь в диэлектриках.
29. Пьезоэлектрические материалы. Практическое применение пьезоэффекта.
30. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости диэлектриков.
31. Физическая природа сегнетоэлектричества.
32. Свойства сегнетоэлектриков. Температура Кюри.
33. Природа магнетизма твердых тел. Виды магнетиков
34. Физическая природа парамагнетизма. Практическое применение парамагнетиков.
35. Физическая природа ферромагнетизма. Применение ферромагнетиков.
36. Ядерный магнитный резонанс и его применение.
37. Сверхпроводимость твердых тел и ее природа.
38. Свойства сверхпроводящих металлов.
39. Высокотемпературная сверхпроводимость ее природа и применение.

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится по билетам, каждый из которых содержит 3 вопроса и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос оценивается 2 баллами, задача оценивается в 4 балла. Максимальное количество набранных баллов – 10.

1. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 9 до 10 баллов.
2. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 8 баллов.
3. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 3 до 5 баллов.
4. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 3 баллов.

При получении оценок «отлично», «хорошо» и «удовлетворительно» требуемые в рабочей программе знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на промежуточном этапе считаются достигнутыми.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Межатомные связи и строение кристаллических решеток	ОПК-1, ПК-3, ПКВ-3	Тест
2	Структура и дефекты в кристалле	ОПК-1, ПК-3, ПКВ-3	Тест, защита лабораторных работ
3	Механические свойства твердых тел	ОПК-1, ПК-3, ПКВ-3	Тест, защита лабораторных работ
4	Физические свойства диэлектриков	ОПК-1, ПК-3, ПКВ-3	Тест, защита лабораторных работ
5	Магнитные свойства твердых тел	ОПК-1, ПК-3, ПКВ-3	Тест
6	Оптические свойства твердых тел	ОПК-1, ПК-3, ПКВ-3	Тест, защита лабораторных работ

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Рембеза С.И. Физика твердого тела: учеб. пособие. Ч. 1. - Воронеж: ВГТУ, 2007. – 207 с.
2. Рембеза С.И. Физика твердого тела: учеб. пособие. Ч. 2. - Воронеж: ВГТУ, 2007. – 137 с.
3. Шалимова К.В. Физика полупроводников; учебник для вузов. - СПб.: Лань, 2014. - 400 с.
4. Павлов, П. В. Хохлов А.Ф. Физика твердого тела : учеб. пособие. - М.: Высш. шк., 2000. - 494с.
5. Энциклопедия технологии полупроводниковых материалов / пер. с англ. Э.П. Домашевской. Т.1: Электронная структура и свойства полупроводников / под ред. К.А. Джексона, В. Шретера. - Воронеж: Водолей, 2004. – 967 с.
6. Чеботарев С.Н. Физика и техника полупроводников: учеб. пособие. – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2017. – 92 с.
7. Фистуль В.И. Физика и химия твердого тела. Т. 1. / В.И. Фистуль. М.: Металлургия, 1995. - 480 с.
8. Фистуль В.И. Физика и химия твердого тела. Т. 2. / В.И. Фистуль. М.: Металлургия, 1995. - 320 с.
9. Новокрещенова Е.П. Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1 - 3 по дисциплине «Физика твердого тела». - Воронеж: ГОУ ВПО «ВГТУ», 2010.
10. Новокрещенова Е.П. Методические указания к выполнению лабораторных работ № 4 - 7 по дисциплине «Физика твердого тела».- Воронеж: ГОУ ВПО «ВГТУ», 2010.
11. Новокрещенова Е.П. Методические указания к выполнению практических заданий по дисциплине «Физика конденсированного состояния». Ч.1. - Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2012.
12. Новокрещенова Е.П. Методические указания к выполнению практических заданий по дисциплине «Физика конденсированного состояния». Ч.2. - Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2012.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Методические указания к выполнению лабораторных работ представлены на сайте: <http://cchgeu.ru/>.

Системные программные средства: Microsoft Windows, Microsoft Vista.

Прикладные программные средства: Microsoft Office 2010 Pro, FireFox.

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудо-

ванием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой.

2. Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для выполнения расчетов, и рабочими местами для самостоятельной подготовки обучающихся с выходом в «Интернет».

3. Лабораторное оборудование кафедры полупроводниковой электроники и наноэлектроники.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Физика конденсированного состояния» читаются лекции, проводятся практические и лабораторные занятия, выполняется курсовая работа.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Методика выполнения курсовой работы соответствует стандартным требованиям.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсовой работы, защитой курсовой работы. Освоение дисциплины оценивается на экзамене.

Вид учебных занятий	Деятельность 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. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практические занятия	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных; для подготовки к ним необходимо разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебни-

	ка, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоения учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1			
2			
3			