

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

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета В.А. Небольсин

«31» августа 2021 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины

«Физика конденсированного состояния»

Направление подготовки 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль Компоненты микро- и наносистемной техники

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2018

Автор программы

Стогней О.В. /Стогней О.В./

И.о. заведующего кафедрой
Физики твердого тела

Калинин Ю.Е. /Калинин Ю.Е./

Руководитель ОПОП

Стогней О.В. /Стогней О.В./

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины: Формирование научной основы для осознанного и целенаправленного использования свойств конденсированных сред при создании объектов и систем в различных областях нанотехнологии и микросистемной техники.

1.2. Задачи освоения дисциплины: Изучение фундаментальных результатов физики конденсированного состояния и способов практического использования свойств конденсированных сред, практическое овладение методами теоретического описания и основными теоретическими моделями конденсированного состояния, навыками постановки физического эксперимента по изучению свойств конденсированных сред и основными экспериментальными методиками.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» относится к дисциплинам базовой части блока Б.1 учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Физика конденсированного состояния» направлен на формирование следующей компетенции:

ОПК-1 – Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	<p>знать</p> <ul style="list-style-type: none">- виды химических связей и их влияние на свойства материалов;- основы зонной теории твердого тела, классификация материалов;- основные типы структурных дефектов;- основные кинетические явления в конденсированных средах, гальваномагнитные, термоэлектрические и термомагнитные явления;- методы описания динамики решетки, колебания решетки и их физические проявления, теплоемкость, теплопроводность;- электрические свойства конденсированных тел;- основы зонной теории твердого тела. <p>уметь</p> <ul style="list-style-type: none">- определять тип материала по физическим характеристикам;- осуществлять выбор материалов для получения требуемых физических характеристик. <p>владеть</p> <ul style="list-style-type: none">- методами теоретических исследований для применения в своей профессиональной деятельности.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Физика конденсированного состояния» составляет 11 зачетных единиц.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры		
		3	4	
Аудиторные занятия (всего)	180	90	90	
В том числе:				
Лекции	72	36	36	
Практические занятия (ПЗ)	72	36	36	
Лабораторные работы (ЛР)	36	18	18	
Самостоятельная работа	180	90	90	
Курсовой проект	-	-	-	
Часы на контроль			36	
Вид аттестации – экзамен	+		+	
Общая трудоемкость	час	396	180	216
	зач. ед.	11	5	6

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1. Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

Очная форма обучения

№	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1.	Типы химических связей. Кристаллическая решётка	Типы химических связей. Энергия связей. Влияние типа связи на физические свойства. Кристаллическая решётка. Решётка Бравэ. Индексы Миллера.	6	6		15	27
2.	Дефекты в конденсированных средах.	Дефекты в конденсированных средах. Тепловые дефекты. Радиационные дефекты. Стехиометрические дефекты. Дислокации.	6	6	4	15	31
3.	Элементы физической статистики	Элементы физической статистики. Коллективы частиц. Бозоны и Фермионы. Функция распределения. Распределение Ферми-	6	6		15	27

		Дирака. Бозе – Эйнштейна, Максвелла-Больцмана.						
4.	Нормальные колебания решётки. Фононы.	Нормальные колебания решётки. Фононы. Оптические и акустические фононы. Температура Дебая.	6	6	4	15	31	
5.	Тепловые свойства конденсированных сред.	Тепловые свойства конденсированных сред. Теплоёмкость. Теплопроводность. Тепловое расширение.	6	6	4	15	31	
6.	Элементы зонной теории конденсированных сред.	Элементы зонной теории конденсированных сред. Металлы, полупроводники, диэлектрики. Проводимость полупроводников. Примесные полупроводники.	6	6	6	15	33	
7.	Статистика равновесных носителей заряда в полупроводниках	Статистика равновесных носителей заряда в полупроводниках	8	8		18	34	
8.	Неравновесные носители заряда. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда	Неравновесные носители заряда. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда	8	8	4	18	38	
9.	Кинетические явления в полупроводниках.	Кинетические явления в полупроводниках. Эффект Холла, Эффект Зеебека, Пельтье, Томсона. Магнитосопротивление. Эффект Нернста. Эффект Риги-Ледюка.	6	6	4	18	34	
10.	Фотопроводимость	Фотопроводимость. Край поглощения, Релаксация проводимости.	6	6	4	18	34	
11.	Контактные явления	Контактные явления. Работа выхода. Контакт металл-металл, металл-полупроводник, p-n переход.	8	8	6	18	40	
Итого			72	72	36	180	360	

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Изучение поляризации линейных и нелинейных диэлектриков.
2. Изучение диэлектрической релаксации Дебаевского типа в диэлектриках.
3. Исследование пьезоэлектрического эффекта.
4. Исследование диэлектрических потерь, обусловленных электропроводностью
5. Изучение температурной зависимости электрического сопротивления и определение энергии ионизации (активации)
6. Исследование температурной зависимости эдс холла и определение параметров полупроводников по результатам их измерений
7. Измерение времени жизни неосновных носителей заряда
8. Измерение температурной зависимости термо-э.д.с.

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

Курсовые работы не предусмотрены учебным планом

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

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	Знать: - виды химических связей и их влияние на свойства материалов; - основы зонной теории твердого тела, классификация материалов; - основные типы структурных дефектов; - основные кинетические явления в конденсированных средах, гальвано-магнитные, термоэлектрические и термомагнитные явления; - методы описания динамики решетки, колебания решетки и их физические проявления, теплоемкость, теплопроводность; - оптические свойства конденсированных сред.	Активная работа на лекциях и практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь: - определять тип материала по физическим характеристикам; - осуществлять выбор материалов для получения требуемых физических характеристик.	Написание коллоквиумов, прохождение тестов.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть: - методами теоретических исследований для применения в своей профессиональной деятельности.	Выполнение и защита лабораторных работ	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	Знать: - виды химических связей и их влияние на свойства материалов; - основы зонной теории твердого тела, классификация материалов; - основные типы структурных дефектов; - основные кинетические явления в конденсированных средах, гальваномагнитные, термоэлектрические и термомагнитные явления; - методы описания динамики решетки, колебания решетки и их физические проявления, теплоемкость, теплопроводность; - оптические свойства конденсированных сред.	Коллоквиум, Тест	Выполнение задания на 90-100%	Выполнение задания на 80-90%	Выполнение задания на 70-80%	В задании менее 70% правильных ответов
	Уметь: - определять тип материала по физическим характеристикам; - осуществлять выбор материалов для получения требуемых физических характеристик.	Коллоквиум, Тест	Выполнение задания на 90-100%	Выполнение задания на 80-90%	Выполнение задания на 70-80%	В задании менее 70% правильных ответов
	Владеть: - методами теоретических исследований для применения в своей профессиональной деятельности.	Коллоквиум, Тест	Выполнение задания на 90-100%	Выполнение задания на 80-90%	Выполнение задания на 70-80%	В задании 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 коллоквиуму

1. Дать определение понятия "время релаксации".
2. Какие взаимодействия электронов с дефектами называются упругими, какие - неупругими? Привести примеры упругих и неупругих взаимодействий, объяснить, почему они таковыми являются.
3. В чем смысл "кинетического уравнения"?
4. Что такое стационарное состояние?
5. Если рассматривается стационарное состояние, как в этом случае выглядит кинетическое уравнение?
6. Электроны рассеиваются на нейтральных атомах и ионах: какое рассеяние более сильно влияет на движение электронов (на атомах или ионах)? Влияет ли температура на то, какой именно механизм будет определяющим?

7. Какой тип дефектов в большей степени снижает длину свободного пробега электронов при нормальных условиях (комнатная температура). Влияет ли температура на порядок значимости дефектов?

8. Что такое эффективное сечение рассеяния? У каких дефектов оно наибольшее?

9. Что такое теплопроводность? Дать определение коэффициента теплопроводности.

10. Может ли диэлектрический материал проводить тепло?

11. Что обеспечивает теплопроводность диэлектриков?

12. Что обеспечивает теплопроводность металлов?

13. Закон Видемана-Франца.

14. Суть эффекта Зеебека.

15. Физическая причина возникновения эффекта Зеебека.

16. В каких материалах (п/п или металл) эффект Зеебека численно больше?

17. Суть эффекта Пельтье.

18. Физическая причина возникновения эффекта Пельтье в материалах с одним типом проводимости.

19. Физическая причина возникновения эффекта Пельтье в материалах с разным типом проводимости.

20. Критерий сильного (или слабого) магнитного поля.

21. В чем суть эффекта Холла?

22. Что такое коэффициент Холла? Какую характеристику полупроводника можно определить исследуя эффект Холла?

23. Что такое угол Холла?

24. Причина возникновения баллистического магнитосопротивления. Как проявляется магнитосопротивление?

25. Критерий сильного (или слабого) магнитного поля.

26. Эффект Холла в полупроводниках с одним типом носителей заряда.

27. Что такое коэффициент Холла? Какую характеристику полупроводника можно определить исследуя эффект Холла?

28. Что такое угол Холла?

29. В чем заключаются различия эффекта Холла и эффекта Нернста-Эттингсгаузена?

7.2.2 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. В чем особенность термодинамического способа описания состояния системы частиц?

- Для описания системы используются макроскопические параметры, относящиеся ко всей системе, а не характеристики каждой отдельной частицы.

- Рассматривается состояние термодинамического равновесия, а не воздействие внешних сил на систему.

- Описание состояния системы происходит на основе использования энергии Гиббса, а не функции Максвелла-Больцмана.

- Описание системы основывается на использовании первого и второго законов термодинамики.
2. Что такое химический потенциал?
 - Способность атомов данного вещества образовывать химические связи с атомами водорода.
 - Величина энергии химической связи, возникающей между атомами, формирующими твердое тело.
 - Величина, на которую меняется энергия системы при изменении числа частиц, формирующих тело, на единицу.
 3. В чем особенность статистического метода описания состояния системы частиц?
 - Вероятностный характер существующих закономерностей.
 - Точность значений получаемых параметров не превышает 75 %.
 - Используются только средние значения всех численных параметров.
 4. Чем определяется точность статистического способа описания состояния системы частиц?
 - Правильностью выбора функции распределения
 - Числом частиц в описываемом коллективе.
 - Той точностью, с которой проводятся аналитические вычисления
 5. В чем разница между понятиями «полная статистическая функция распределения» и «функция распределения»?
 - Нет никакой разницы, по существу, это одно и то же.
 - Понятие «полная статистическая функция распределения» относится ко всей совокупности частиц в системе, понятие «функция распределения» - относится только к одной частице в системе.
 - «Полная статистическая функция распределения» определяет число частиц, обладающих определённым значением энергии, «функция распределения» определяет вероятность того, что данное состояние занято частицей.
 6. Какие коллективы частиц описывает функция Максвелла-Больцмана?
 - Любой коллектив элементарных частиц.
 - Коллектив классических частиц.
 - Коллектив квантовых частиц.
 7. Какую функцию распределения нужно использовать при описании состояния молекул идеального газа?
 - Максвелла-Больцмана
 - Ферми-Дирака
 - Бозе-Эйнштейна
 8. При описании состояния электронного газа в металле какую функцию распределения нужно применять?
 - Максвелла-Больцмана
 - Ферми-Дирака
 - Бозе-Эйнштейна
 9. Что такое энергия Ферми?
 - Энергия, которой обладают электроны.
 - Максимально возможная энергия электрона при отсутствии внешнего

электрического поля.

- Максимально возможная энергия электрона при температуре 0 К

10. Физический смысл функции Ферми-Дирака?

- Функция позволяет найти значение энергии, которой обладает частица при данных условиях.

- Функция определяет вероятность того, что данное энергетическое состояние занято частицей.

- Функция определяет число частиц, обладающих энергией, равной энергии Ферми.

11. Чему равна функция Ферми-Дирака при температуре 0 К если величина энергии имеет значение меньше чем энергия Ферми?

- Это значение зависит от конкретной величины энергии и вычисляется по соответствующей формуле, куда подставляется величина E .

- Она равна единице.

- При 0 К она равна 0.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Что в физике твердого тела считается дефектом кристаллической решётки ?

2. Перечислить точечные дефекты.

3. Что такое дефект «по Френкелю»?

4. Что такое дефект «по Шоттки»?

5. В чем основное отличие тепловых дефектов от дефектов другого типа?

6. От чего зависит концентрация дефектов «по Френкелю»?

7. Можно ли рассматривать примесный атом как дефект?

8. Точечные дефекты решётки являются неподвижными или могут мигрировать в объеме твердого тела?

9. Фонон можно считать квазичастицей. В твердом теле при ненулевой температуре существует много фононов. *Вопрос:* Энергия разных фононов различна или может быть ситуация, когда много разных фононов имеют абсолютно одинаковое значение энергии?

10. Все твердые тела проводят тепло. За счет чего это происходит? Каков механизм теплопроводности?

11. Отличается ли механизм теплопроводности металлов от механизма теплопроводности диэлектриков? Если нет - почему? Если да - в чем разница?

12. От чего зависит абсолютное значение коэффициента теплопроводности диэлектрика (ведь у разных диэлектриков теплопроводность разная)?

13. Электрический ток это направленное движение носителей заряда. Что заставляет электроны двигаться направленно?

14. Электрический ток это направленное движение носителей заряда. Электроны в металле при фиксированной температуре обладают одинаковой энергией

или разной?

15. Электросопротивление металлов при увеличении температуры возрастает, с чем это связано?

16. Влияют ли дефекты решётки на электросопротивление металлов?

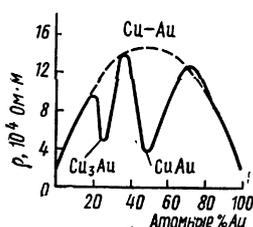
17. Влияют ли фононы на электросопротивление металлов?

18. В каких веществах сопротивление выше: в чистых металлах или в сплавах? Ответ аргументировать.

19. В чем суть закона Видемана -Франца?

20. Выполняется ли закон Видемана -Франца в диэлектриках? Ответ аргументировать.

21. Объяснить, почему зависимость сопротивления от концентрации немонотонная:



22. Основная особенность металлов - наличие коллективизированных электронов. Все ли эти электроны участвуют в электропереносе и других кинетических явлениях?

7.2.4 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Написать выражения для равновесной концентрации электронов в зоне проводимости ($n_0 = \dots$).

2. Написать выражения для равновесной концентрации дырок в валентной зоне ($p_0 = \dots$).

3. Что такое «равновесное состояние» применительно к п/п? Дать определение равновесного состояния п/п.

4. В чем суть «закона действующих масс». Как он записывается математически.

5. Нарисовать зонную диаграмму собственного п/п. Показать где находится уровень Ферми.

6. Нарисовать зонную диаграмму донорного п/п и показать, где расположен уровень Ферми, учитывая, что примесь НЕ ионизирована.

- Сместится ли уровень Ферми, если примесь будет ионизирована. Если да, то куда (показать на рисунке).

7. Нарисовать зонную диаграмму акцепторного п/п и показать, где расположен уровень Ферми, учитывая, что примесь НЕ ионизирована.

- Сместится ли уровень Ферми, если примесь будет ионизирована. Если да, то куда (показать на рисунке).

8. Записать уравнение электронейтральности. В чем его физический

СМЫСЛ.

9. Записать уравнение электронейтральности для донорного полупроводника.
10. Нарисовать зависимость $\ln(n)$ от $1/T$ для донорного полупроводника и написать для каждого линейного участка зависимости какой тип проводимости реализуется.
11. При каких условиях в примесном п/п реализуется собственная проводимость.
12. Что такое неравновесные носители заряда? Чем они отличаются от равновесных.
13. Дать определение рекомбинации и генерации.
14. Записать математическое выражение для «принципа детального равновесия» (для равновесного состояния).
15. Как математически связана концентрация неравновесных носителей заряда и равновесных?
16. Перечислить механизмы генерации в п/п.
17. Перечислить виды межзонной рекомбинации.
18. Что собой представляют «ловушки», через которые осуществляется рекомбинация свободных носителей заряда в п/п?
19. Суть (механизм) биполярной генерации.
20. Суть (механизм) монополярной генерации.
21. Что такое дрейф носителей заряда?
22. Чем отличается дрейфовая скорость электронов от тепловой?
23. Что такое дрейфовый ток? Записать выражение для дрейфового тока.
24. Физическая причина возникновения диффузионного тока? Записать выражение для диффузионного тока.
25. Что определяет уравнение непрерывности, какие процессы оно учитывает? Записать уравнение непрерывности для электронов.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Типы химической связи. Более подробно: силы Ван-дер Ваальса (- дисперсионное взаимодействие, - ориентационное взаимодействие, - индукционное взаимодействие) и водородная связь.
2. Типы химической связи. Более подробно: ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.
3. Понятие «элементарная ячейка», основные типы элементарных ячеек. Индексы Миллера для направления и для плоскости.
4. Дефекты кристаллической структуры (классификация). Механизмы образования точечных дефектов. Тепловые точечные дефекты (дефекты по Френкелю, дефекты по Шоттки). Особенности радиационных дефектов.
5. Дефекты кристаллической структуры (классификация). Дислокация. Краевая и винтовая дислокации. Вектор Бюргера.
6. Два способа описания состояния коллектива частиц: термодинамический и статистический – основные особенности. Два типа частиц (фермионы и бозоны),

основные отличия. Вырожденный и невырожденный коллектив частиц.

7. Виды статистик для описания системы частиц. Смысл термина «Полная статистическая функция распределения». Полная функция распределения: «число состояний» и «функция распределения» (смысл терминов). Зависимость числа состояний от энергии (графики).

8. Функция распределения для невырожденного газа – функция Максвелла-Больцмана. Графики зависимости функции распределения М-Б и числа частиц от энергии. Какие частицы описываются с помощью распределения М-Б?

9. Функция распределения для вырожденного газа - функция Ферми-Дирака. Графики зависимости функции распределения Ф-Д и числа частиц от энергии. Какие частицы описываются с помощью распределения Ф-Д?

10. Влияние температуры на распределение Ферми-Дирака.

11. Нормальное колебание атомной решетки. Дисперсионные кривые. Оптические и акустические колебания.

12. Максимальная частота колебаний атомов. Дебаевская частота. Температура Дебая.

13. Фононы. Энергия фононов. Теплоемкость. Теплоемкость решетки. Закон Дебая, закон Дюлонга и Пти.

14. Фононы. Энергия фононов. Теплоемкость электронного газа.

15. Теплопроводность. Решёточная теплопроводность. Зависимость теплопроводности от температуры. Теплопроводность металлов.

16. Дрейф электронов под действием внешнего поля. Дрейфовая скорость и подвижность электронов. Длина свободного пробега, время релаксации.

17. Закон Видемана-Франца. Температурная зависимость электросопротивления металлов. Температурный коэффициент электросопротивления.

18. Энергетические диаграммы электронных уровней изолированного атома и твердого тела. Основы зонной модели твердого тела. Понятие «валентная зона», «зона проводимости» и «запрещенная зона».

19. Собственная проводимость полупроводников. Механизм появления свободных носителей заряда. Понятие «дырка» в контексте проводимости полупроводников.

20. Примесная проводимость полупроводников. Полупроводники n и p типа. Переход полупроводника от примесной проводимости к собственной.

21. Равновесная концентрация электронов в зоне проводимости. Что означает термин «равновесная концентрация»? Как электроны оказываются в зоне проводимости? Вывод формулы, определяющей величину n_0 . Знать формулу для p_0 .

7.2.6 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Примесная проводимость в полупроводниках. Донорные и акцепторные примеси. Ионизация примесей. Положение уровня Ферми в полупроводниках при различной температуре.

2. Закон действующих масс. Уравнение электронейтральности в общем виде. Положение уровня Ферми в собственном полупроводнике.

3. Положение уровня Ферми в невырожденном полупроводнике с донор-

ными примесями. Область низких и умеренных температур. График зависимости $\ln(n)$ от температуры для всего интервала значений (от низких до высоких температур). График зависимости E_F от температуры.

4. Равновесные и неравновесные носители заряда, в чем разница между ними. Избыточная концентрация. Смысл терминов «рекомбинация» и «генерация». Механизмы генерации. Механизмы рекомбинации. Что выступает в роли дефектов в случае рекомбинации через ловушки.

5. Биполярная оптическая генерация, механизм генерации. Зависимость избыточной концентрации электронов от времени после снятия внешнего возбуждения (описание процесса рекомбинации). Понятие «время жизни» избыточных носителей заряда.

6. Монополярная оптическая генерация, механизм генерации. Максвелловское время релаксации.

7. Дрейф электронов под действием электрического поля. Отличие дрейфовой скорости электронов от тепловой. Зависимость подвижности от температуры и концентрации примеси.

8. Дрейфовый ток, диффузионный ток. Причина появления токов, выражения для полных токов, протекающих в полупроводнике.

9. Уравнение непрерывности в полупроводниках.

10. Дрейфовый ток, диффузионный ток. Причина появления токов. Соотношение Эйнштейна.

11. Кинетическое уравнение. Кинетическое уравнение для стационарного случая. Понятие времени релаксации.

12. Особенности рассеяния носителей заряда в полупроводниках. Эффективное сечение рассеяния. Рассеяние на дефектах.

13. Кинетические явления. Теплопроводность. Закон Видемана-Франца.

14. Эффект Зеебека (ТермоЭДС).

15. Эффект Пельтье. Эффект Томпсона.

16. Критерий сильного и слабого магнитного поля. Магнитосопротивление. Эффект Холла.

17. Эффект Нернста-Эттингсхаузена. Эффект Риги-Ледюка.

18. Полупроводник в сильном электрическом поле: критерий «сильного» электрического поля; эффект «разогрева» электронного газа; вольт-амперная характеристика полупроводника в условиях сильного электрического поля.

19. Эффект Ганна.

20. Фотопроводимость. Край поглощения.

21. Работа выхода.

22. Контактная разность потенциалов при контакте металл-металл.

23. Контактная разность потенциалов при контакте металл-полупроводник.

7.2.7 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по билетам, каждый из которых содержит 3 вопроса.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент не отве-

тил ни на один вопрос.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент ответил на один вопрос и дополнительные качественные вопросы.

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент ответил на два вопроса и дополнительные качественные вопросы.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент ответил на три вопроса по билету и дополнительные вопросы.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1.	Дефекты в конденсированных средах.	ОПК-1	Коллоквиум, тест, зачет
2.	Элементы физической статистики	ОПК-1	Коллоквиум, тест, зачет
3.	Нормальные колебания решётки. Фононы.	ОПК-1	Коллоквиум, тест, зачет
4.	Тепловые свойства конденсированных сред.	ОПК-1	Коллоквиум, тест, зачет
5.	Элементы зонной теории конденсированных сред.	ОПК-1	Коллоквиум, тест, зачет
6.	Статистика равновесных носителей заряда в полупроводниках	ОПК-1	Коллоквиум, тест, зачет, экзамен
7.	Неравновесные носители заряда. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда	ОПК-1	Коллоквиум, тест, экзамен
8.	Кинетические явления в полупроводниках.	ОПК-1	Коллоквиум, тест, экзамен
9.	Фотопроводимость	ОПК-1	Коллоквиум, тест, экзамен
10.	Контактные явления	ОПК-1	Коллоквиум, тест, экзамен
11.	Дефекты в конденсированных средах.	ОПК-1	Коллоквиум, тест, экзамен

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

Коллоквиумы проводятся в виде письменных ответов на предложенные качественные вопросы. Обычно в одном коллоквиуме предлагается ответить на 15 – 19 вопросов. Время написания 45 мин, после чего коллоквиумы проверяются препода-

вателем. Оценка за коллоквиум выставления согласно методики оценки при проведении промежуточной аттестации. После проверки результатов и их анализа проводится обсуждение результатов коллоквиума с анализом неправильных ответов.

Тестирование осуществляется с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 40 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором, выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации. После этого проводится обсуждение полученных результатов в режиме вопрос-ответ, с анализом неправильных ответов.

8. УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Филимонова, Н. И. Физика конденсированного состояния : учебное пособие / Н. И. Филимонова, Р. П. Дикарева. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2016. — 136 с. [Текст : электронный] //

Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : URL:

<https://www.iprbookshop.ru/91569.html>

2. Физика конденсированного состояния. Дефекты строения в металлах : учебник / А. Н. Чуканов, Н. Н. Сергеев, А. Е. Гвоздев [и др.] ; под редакцией А. Н. Чуканова. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. — 300 с. [Текст : электронный] // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : URL:

<https://www.iprbookshop.ru/115191.html>

3. Черевко, А. Г. Физика конденсированного состояния. Часть 1. Кристаллы и их тепловые свойства : учебное пособие / А. Г. Черевко. — Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2016. — 81 с. — [Текст : электронный] // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART :

URL: <https://www.iprbookshop.ru/69566.html>

4. П.В.Павлов, А.Ф.Хохлов Физика твердого тела Учеб. пособие / - 3-е изд., стереотип. - М. : Высш. шк., 2000. - 494с.

5. Байков Ю.А. Физика конденсированного состояния Учеб. пособие. - М. : Бинوم. Лаборатория знаний, 2011. - 293 с.

6. Сыроев О.И. Физические основы твердотельной электроники Учеб. пособие. Ч.1. - Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2012. - 213 с.

7. Л.И.Янченко, О.В.Стогней Методические указания 12-2015 к лабораторным работам № 1-4 по курсу «Физика конденсированного состояния» для студентов направления «Нанотехнологии и микросистемная техника» (профиль «Компоненты микро- и наносистемной техники») очной формы обучения – 2015. – 45 с.

(электронное издание)

8. С.А.Гриднев, Л.Н. Коротков Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1-4 по дисциплине «Физика твердого тела» для студентов специальности «Техническая физика» дневной формы обучения – 2007 – 38 с. (электронное издание)

9. А.В.Калгин, Л.Н.Коротков, О.В.Стогней, Л.И.Янченко Методические указания 124-2014 к выполнению практических работ по дисциплине «Физика твердого тела» для студентов направления «Техническая физика». 2014 – 26 с. (электронное издание)

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

Электронная информационная образовательная среда ВГТУ, код доступа:

<http://eios.vorstu.ru/>

Программное обеспечение компьютеров для самостоятельной и аудиторной работы:

Операционные системы семейства MSWindows;

Пакет программ семейства MS Office;

Пакет офисных программ OpenOffice;

Программа просмотра файлов Djview;

Программа просмотра файлов формата pdf AcrobatReader;

Интернет-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome.

Используемые электронные библиотечные системы:

Модуль книгообеспеченности АИБС «МАРК SQL», код доступа:

<http://bibl.cchgeu.ru/provision/struct/>;

Университетская библиотека онлайн, код доступа: <http://biblioclub.ru/>;

ЭБС Издательства «ЛАНЬ», код доступа <http://e.lanbook.com/>;

ЭБС IPRbooks, код доступа: <http://www.iprbookshop.ru/>;

научная электронная библиотека eLIBRARY.RU, код доступа: <http://elibrary.ru/>.

Информационные справочные системы:

портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования, код доступа <http://fgosvo.ru/>;

единое окно доступа к образовательным ресурсам, код доступа <http://window.edu.ru/>;

открытый образовательный ресурс НИЯУ МИФИ, код доступа <http://online.mephi.ru/>;

открытое образование, код доступа: <https://openedu.ru/>;

физический информационный портал, код доступа:

<http://phys-portal.ru/index.html>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Для проведения лекционных и практических занятий используется аудитория, оснащенная доской.

Лабораторные работы проводятся в учебно-научных лабораториях кафедры ФТТ, оснащенных необходимым оборудованием и приборами.

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

По дисциплине «Основы магнетизма» читаются лекции, проводятся практические и лабораторные занятия, проводится самостоятельная работа студентов.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе, а также проведение блиц-опроса по предыдущему материалу.

Практические занятия направлены на приобретение навыков теоретического анализа свойств и характеристик магнитных материалов. Занятия проводятся в режиме диалога и обсуждения наиболее сложных вопросов в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ, и направлены на приобретения знаний в области исследования основных магнитных характеристик материалов и определения их численных значений.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию о всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой коллоквиумов, тестов, устных опросов. 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	Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы.
Лабораторные работы	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции, при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных работ для подготовки к ним необходимо: разобрать

	лекцию по соответствующей теме, ознакомится с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, разобраться по методическому указанию, что и с какой целью предстоит делать на лабораторной работе.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоения учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> - 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 экзамену	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.