Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Осетинский государственный университет имени Коста Левановича Хетагурова»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УР
А.М. Дигурова
«29» июня 2021

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Физика конденсированного состояния»

Направление 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки)

Профили: Физика. Математика.

Квалификация (степень) выпускника – бакалавр

Форма обучения – очная

(год начала подготовки 2016 год)

Владикавказ 2020

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению 44.03.05 – Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки. Профиль подготовки – Физика, математика), утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 9 февраля 2016 г. №91, учебным планом подготовки бакалавра по направлению 44.03.05 –Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки. Профиль подготовки – Физика, математика), утвержденным Ученым советом ФГБОУ ВО «СОГУ» (протокол № 9 от 30 апреля 2020 г.).

Составитель: Кесаев В.И.

Рабочая программа обсуждена и утверждена на заседании кафедры физики конденсированного состояния (протокол № 9 от 18 июня 2020г.)

Зав. кафедрой _____ Т.Т. Магкоев

Одобрена советом физико-технического факультета

(протокол № 6 от «27» июня 2020г.)

Председатель совета факультета _____ И.В. Тваури

СОДЕРЖАНИЕ

стр.

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ (МОДУЛЯ)….…… 4
2. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)…… 4
3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПО СЕМЕСТРАМ……... 5
4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)….……. 5
5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)……..... 8
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)…….. 14
7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)……... 15

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» относится к базовой части блока Б1 учебного плана.

Логические и содержательно-методические взаимосвязи дисциплины с другими частями ОП (дисциплинами (модулями), практиками):

№ п/п	Наименование предшествующей дисциплины (модуля)	Семестр	Шифр компетенции предшествующей дисциплины
1	Физика	123	ОК-7, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-5
2	Математика	123	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5
3	Введение в профессию	1	ОК-2, ОК-4, ОК-6, ОК-7, ОПК-1

- связь с последующими дисциплинами (модулями), практиками, ВКР

№ п/п	Наименование последующей дисциплины (модуля), практик, ВКР	Семестр	Шифр компетенции последующей дисциплины (модуля), практик, ВКР
1	Процессы микро- и наноэлектроники	6	ОПК-5, ОПК-7, ПК-1
2	Микроэлектроника	6	ПК-1, ПК-2, ПК-3
3	Твердотельная электроника	7	ПК-1, ПК-2, ПК-3

2. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование у обучаемого следующих компетенций (ОК-7, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-5):

- способностью к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);
- способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2);
- способностью решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей (ОПК-3);
- способностью использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных (ОПК-5).

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать

- классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории; основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел, механизмы протекания тока; особенности электронных свойств неупорядоченных и аморфных материалов;

уметь

- применять методы и средства измерения физических величин.

владеть

- методами квантово-механического описания простейших квантовых систем, входящих в состав элементов электроники и наноэлектроники.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПО СЕМЕСТРАМ

№ семестра	Виды учебных занятий	Всего часов по учебному плану	Контактная работа		Самостоятельная работа
			аудиторная	внеаудиторная	
4	Лекции	18	18	x	x
	лабораторные работы	18	18	x	x
	практические/ семинарские занятия	36	36/16*	x	x
	СРС	72	x	0,9	71,1
	СРС экз.	0	x	0	0
	ВСЕГО за 4 семестр	**144**	**72**	**0,9**	**71,1**

* всего аудиторных часов / в том числе в активной и интерактивной формах.

Промежуточная аттестация – зачет с оценкой в 4 семестре.

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

4.1. Контактная аудиторная работа

4.1.1. Наименование тем лекций, их содержание и объем в часах

Тема 1. Введение – 2 ч., (ОК-7, ОПК-3, ОПК-5)

Классификация типов связей. Сила Ван-дер-Ваальса: дисперсионное взаимодействие, ориентационное взаимодействие, индукционное взаимодействие. Ионная связь: зависимость потенциальной энергии от расстояния, результирующая энергия взаимодействия ионов, результирующая энергия решетки. Ковалентная связь: обобществление электронов. Металлическая связь. Водородная связь.

Литература раздел 7 [1, 2, 8]

Тема 2. Элементы кристаллографии – 2 ч., (ОПК-2, ОПК-3)

Кристаллическая решетка. Решетки Бравэ. Трансляции. Элементарная ячейка. Узлы решетки. Простые и сложные элементарные ячейки. Типы сложных элементарных ячеек (объемноцентрированные, гранецентрированные, базоцентрированные), решетки с базисом. Обозначение узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Классификация твердых тел по характеру сил связи. Дефекты по Френкелю, дефекты по Шоттки, примеси.

Литература раздел 7 [1, 3, 10, 14]

Тема 3. Механические свойства твердых тел – 2 ч., (ОК-7, ОПК-2, ОПК-3)

Упругая и пластическая деформация. Закон Гука. Понятие о дислокациях. Основные типы дислокаций: линейные дислокации. Вектор Бюргерса.

Литература раздел 7 [1, 2, 9, 15]

Тема 4. Тепловые свойства твердых тел. – 2 ч., (ОПК-2, ОПК-3, ОПК-5)

Понятие о нормальных колебаниях решетки. Спектр нормальных колебаний решетки. Характеристическая дебаевская частота. Характеристическая температура Дебая. Понятие о фононах. Теплоемкость твердого тела. Теплоемкость электронного газа. Теплопроводность твердых тел.

Литература раздел 7 [1, 3, 4, 13]

Тема 5. Зонная теория твердых тел. – 2 ч., (ОПК-3, ОПК-5)

Обобществление электронов в кристаллов. Энергетический спектр электронов в кристалле. Зависимость энергии электрона от волнового вектора. Эффективная масса электрона. Проводники, диэлектрики и полупроводники.

Литература раздел 7 [1, 2, 5, 6, 7]

Тема 6. Полупроводники. – 2 ч., (ОК-7, ОПК-2)

Функция распределения для вырожденного газа фермионов. Функция распределения для вырожденного газа бозонов. Собственные полупроводники. Понятие о дырках. Примесные полупроводники. Положение уровня Ферми и концентрация свободных носителей в полупроводниках. Экситоны.

Литература раздел 7 [1, 3, 6, 12, 14, 16]

Тема 7. Электропроводность твердых тел. – 2 ч., (ОК-7, ОПК-3, ОПК-5)

Дрейф электронов под действием внешнего поля. Время релаксации и длина свободного пробега. Удельная электропроводность проводника. Электропроводность чистых металлов. Собственная проводимость полупроводников. Примесная проводимость полупроводников.

Литература раздел 7 [1, 2, 3, 6, 16]

Тема 8. Контактные явления – 2 ч., (ОК-7, ОПК-3, ОПК-5)

Работа выхода. Влияние абсорбционных слоев на работу выхода. Контакт двух металлов. Контактная разность потенциалов. Контакт металла с полупроводником. Запорный слой. Влияние контактного поля на энергетические уровни полупроводника. Выпрямление на контакте полупроводника с металлом. Контакт двух полупроводников с различным типом проводимости. Равновесное состояние p-n-перехода. Выпрямляющее действие p-n-перехода. Вольтамперная характеристика p-n-перехода.

Литература раздел 7 [1, 2, 4, 9, 13, 15]

Тема 9. Магнитные свойства твердых тел – 2 ч., (ОПК-3, ОПК-5)

Магнитное поле в магнетиках. Магнитные свойства твердых тел. Магнитные свойства атомов. Природа диамагнетизма. Природа парамагнетизма. Природа ферромагнетизма. Роль обменного взаимодействия в возникновении ферромагнетизма.

Литература раздел 7 [1, 3, 5, 9, 13, 16]

4.1.2. Практические (семинарские) занятия, их наименование и объем в часах

№	Наименование тем занятий	Кол-во часов	Форма контроля	Сроки контроля	Номер компетенции	Литература
1	*Кристаллическая решетка. Определение индексов Миллера*	4	Тест групповая дискуссия	15-20.03	(ОК-7, ОПК-3, ОПК-5)	7 [1-4]
2	Кристаллическая решетка. Элементы рентгенографии	4	Тест групповая дискуссия	15-20.03	(ОПК-2, ОПК-3)	7 [1-4]
3	*Кристаллическая решетка. Типы элементарных кристаллических ячеек*	4	Тест групповая	15-20.03	(ОК-7, ОПК-2,	7 [1-4]

			дискуссия		ОПК-3)	
4	*Упругие свойства. Расчет тензора упругих напряжений*	4	Тест групповая дискуссия	15-20.04	(ОПК-2, ОПК-3, ОПК-5)	7 [1-4]
5	*Упругие свойства. Определение тензора деформаций*	4	Тест групповая дискуссия	15-20.04	(ОПК-3, ОПК-5)	7 [1-4]
6	Электроны в твердом теле. Расчет энергии Ферми	4	Тест групповая дискуссия	15-20.04	(ОК-7, ОПК-2)	7 [1-4]
7	Электроны в твердом теле. Определение концентрации носителей заряда.	4	Тест групповая дискуссия	15-20.05	(ОК-7, ОПК-3, ОПК-5)	7 [1-4]
8	Электроны в твердом теле. Расчет электропроводности и контактной разности потенциалов	4	Тест групповая дискуссия	15-20.05	(ОК-7, ОПК-3, ОПК-5)	7 [1-4]
9	Оптические свойства. Определение фотоиндуцированного напряжения на p-n-переходе	4	Тест групповая дискуссия	15-20.05	(ОПК-3, ОПК-5)	7 [1-4]

4.1.3. Лабораторные занятия, их наименование и объем в часах

№	Наименование тем занятий	Кол-во часов	Форма контроля	Сроки контроля	Номер компетенции	Литература
1	Построение различных типов кристаллических решеток	4	Допуск. Защита отчета.	15-20.03	(ОК-7, ОПК-3, ОПК-5)	[1-3,11-17]
2	Функция распределения Ферми-Дирака металлы	4	Допуск. Защита отчета.	15-20.04	(ОПК-2, ОПК-3)	[1-3,11-17]
3	Определение уровня Ферми и расчет концентрации носителей заряда в собственных и примесных полупроводниках	6	Допуск. Защита отчета.	15-20.04	(ОК-7, ОПК-3, ОПК-5)	[1-3,11-17]
4	Электронно-дырочный переход	4	Допуск. Защита отчета.	15-20.05	(ОПК-3, ОПК-5)	[1-3,11-17]

4.2. Самостоятельная работа

СРС – и (или) темы и разделы тем для самостоятельного изучения, в том числе конспектирование - 71,1 ч.

№	Наименование тем	Кол-во часов	Номер компетенции	Литература
1	**Тема 2** Несовершенства и дефекты кристаллической решетки. Мозаическая структура.	10	(ОПК-2, ОПК-3)	7 [1, 10]
2	**Тема 3.** Винтовые дислокации. Источники дислокаций.	10	(ОК-7, ОПК-2, ОПК-3)	7 [2, 7]
3	**Тема 5.** Заполнение зон электронами.	10	(ОПК-3, ОПК-5)	7 [1, 5]
4	**Тема 6.** Неравновесные носители. Фотопроводимость полупроводников.	10	(ОК-7, ОПК-2)	7 [3, 6]
5	**Тема 7.** Электропроводность невырожденного и вырожденного газов. Закон Видемана-Франца-Лоренца.	10	(ОК-7, ОПК-3, ОПК-5)	7 [2, 9]
6	**Тема 8.** Толщина двойного электрического слоя, возникающего в месте контакта двух металлов	10	(ОК-7, ОПК-3, ОПК-5)	7 [1, 14]
7	**Тема 9.** Доменная структура ферромагнитных тел. Качественный анализ кривой намагничивания.	11,1	(ОПК-3, ОПК-5)	7 [2, 7]

4.3. Контактная внеаудиторная работа

СРС – групповые консультации в течение семестра – 0,9 ч.

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ, ТЕКУЩЕЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

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

Номер компетенции «ОК-7»	Формулировка компетенции «Способность к самоорганизации и к самообразованию»	
Дисциплины, формирующие компетенцию в процессе освоения образовательной программы		Этап формирования (семестр)
Индекс	Наименование	
Б1.Б.1	История	2
Б1.Б.2	Иностранный язык	12345
Б1.Б.4	Физика	123
Б1.Б.5	Химия	1
Б1.Б.6	Инженерная и компьютерная графика	1
Б1.Б.7	Экология	2
Б1.Б.9	Экономика и организация производства	3
Б1.Б.10	Теоретические основы электротехники	34
Б1.Б.12	Философия	4
Б1.Б.13	Физика конденсированного состояния	4
Б1.Б.19	Физическая культура	16
Б1.В.ОД.1	Социология	3
Б1.В.ОД.2	Экономика	3
Б1.В.ОД.3	Правоведение	5
Б1.В.ОД.6	Введение в профессию	1
Б1.В.ОД.7	Теория вероятностей	6
Б1.В.ДВ.1.1	Основы управления коллективом	2
Б1.В.ДВ.1.2	Экономика и организация предпринимательской деятельности	2

Б1.В.ДВ.1.3	Основы бизнеса	2
Б1.В.ДВ.1.4	Социально-психологические технологии инклюзивного образования	2
Б1.В.ДВ.2.1	Русский язык и культура речи	4
Б1.В.ДВ.2.2	Культура общения в деловой документации	4
Б1.В.ДВ.2.3	Маркетинг	4
Б1.В.ДВ.2.4	Бизнес-планирование	4
Б2.У.1	Учебная практика	4
Б2.П.1	Производственная практика	6
Б2.П.2	Преддипломная (производственная) практика	8
Б3	Государственная итоговая аттестация	8

Номер компетенции «ОПК-2»	Формулировка компетенции «Способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат»	
Дисциплины, формирующие компетенцию в процессе освоения образовательной программы		Этап формирования (семестр)
Индекс	Наименование	
Б1.Б.3	Математика	123
Б1.Б.4	Физика	123
Б1.Б.13	Физика конденсированного состояния	4
Б1.Б.15	Материалы электронной техники	5
Б1.Б.17	Основы технологии электронной компонентной базы	7
Б1.Б.18	Наноэлектроника	8
Б1.В.ОД.2	Экономика	3
Б1.В.ОД.7	Теория вероятностей	6
Б1.В.ОД.8	Методы математической физики	5
Б1.В.ОД.20	Физические основы электроники	567
Б1.В.ДВ.3.3	Концепции современного естествознания	34
Б2.П.1	Производственная практика	6
Б2.П.2	Преддипломная (производственная) практика	8
Б3	Государственная итоговая аттестация	8

Номер компетенции «ОПК-3»	Формулировка компетенции «Способностью решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей»	
Дисциплины, формирующие компетенцию в процессе освоения образовательной программы		Этап формирования (семестр)
Индекс	Наименование	
Б1.Б.4	Физика	123
Б1.Б.10	Теоретические основы электротехники	34
Б1.Б.13	Физика конденсированного состояния	4
Б1.Б.15	Материалы электронной техники	5
Б1.Б.16	Схемотехника	7
Б1.В.ОД.20	Физические основы электроники	567
Б2.У.1	Учебная практика	4
Б2.П.1	Производственная практика	6
Б2.П.2	Преддипломная (производственная) практика	8
Б3	Государственная итоговая аттестация	8

Номер компетенции «ОПК-5»	Формулировка компетенции «Способностью решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей»	
Дисциплины, формирующие компетенцию в процессе освоения образовательной программы		Этап формирования (семестр)
Индекс	Наименование	
Б1.Б.3	Математика	123
Б1.Б.4	Физика	123
Б1.Б.5	Химия	1
Б1.Б.10	Теоретические основы электротехники	34
Б1.Б.11	Метрология, стандартизация и технические измерения	4
Б1.Б.13	Физика конденсированного состояния	4
Б1.В.ОД.7	Теория вероятностей	6
Б1.В.ОД.8	Методы математической физики	5

Б1.В.ОД.10	Численные методы	4
Б1.В.ОД.16	Методы диагностики и анализа микро- и наноструктур	7
Б1.В.ОД.17	Процессы микро- и наноэлектроники	6
Б1.В.ОД.20	Физические основы электроники	567
Б2.У.1	Учебная практика	4
Б2.П.1	Производственная практика	6
Б2.П.2	Преддипломная (производственная) практика	8
Б2.Н.1	Научно-исследовательская работа	8
Б3	Государственная итоговая аттестация	8

5.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Оценка сформированности компетенций в рамках промежуточной аттестации проводится по зачетным билетам.

Зачетные билеты должны включать в себя вопросы для оценки знаний, умений и навыков. Количество вопросов в зачетных билетах должно составлять 3-10 (в случае проведения промежуточной аттестации в форме тестов количество вопросов в билетах должно составлять 10-20).

При текущей аттестации обучающихся оценка сформированности компетенций осуществляется на занятиях:

- лекционного типа посредством собеседования с обучаемыми (опрос обучаемых), в том числе по темам и (или) разделам тем, вынесенным для самостоятельного изучения обучаемыми, доклада (сообщения);

- семинарского типа посредством тестирования обучаемых, собеседования, защиты отчета по лабораторной работе, расчетных работ в ходе практического занятия и т.п.

Номер компетенции	**Показатели оценивания компетенций** (знания и (или) умения и (или) навыки и (или) опыт деятельности, формируемые данной компетенцией)	**Критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования**		
		1-й уровень «УЗНАВАНИЕ»	2-й уровень «ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ»	3-й уровень «ПРИМЕНЕНИЕ»
ОК-7	**знать:** классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории.	+		
ОПК-2	**знать:** основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел, механизмы протекания тока; особенности электронных свойств неупорядоченных и аморфных материалов. **уметь:** применять методы и средства измерения физических величин	+	+	
ОПК-3	**знать:** классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории. основные электрические, магнитные и оптические	+	+	+

	свойства твердых тел, механизмы протекания тока; особенности электронных свойств неупорядоченных и аморфных материалов. **уметь:** применять методы и средства измерения физических величин. **владеть:** методами квантово-механического описания простейших квантовых систем, входящих в состав элементов электроники и наноэлектроники.			
ОПК-5	**знать:** классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории. основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел, механизмы протекания тока; особенности электронных свойств неупорядоченных и аморфных материалов. **уметь:** применять методы и средства измерения физических величин. **владеть:** методами квантово-механического описания простейших квантовых систем, входящих в состав элементов электроники и наноэлектроники.	+	+	+

Шкала оценивания компетенций:

«отлично» - обучающийся правильно, четко, аргументировано и в полном объёме изложил содержание зачетных вопросов, успешно выполнил практические задания, убедительно ответил на все дополнительные вопросы, показал высокий уровень сформированных компетенций;

«хорошо» - обучающийся правильно, но недостаточно полно изложил содержание теоретических зачетных вопросов, успешно выполнил практические задания, испытывал затруднения при ответе на дополнительные вопросы, показал продвинутый уровень сформированных компетенций;

«удовлетворительно» - обучающийся изложил основные положения теоретических зачетных вопросов, правильно выполнил практическое задание, испытывал серьезные затруднения при ответах на дополнительные вопросы, показал пороговый уровень сформированных компетенций;

«неудовлетворительно» - обучающийся не справился с большинством теоретических зачетных вопросов и (или) не справился с выполнением практических заданий.

5.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы.

Материалы для оценивания знаний:

- вопросы к зачету:

1. Типы связей в кристаллах: силы Ван-дер-Ваальса, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.
2. Решетки Браве: 7 сингоний, 3 кубических решетки.
3. Обозначение узлов, направлений и плоскостей (индексы Миллера) в кристалле.
4. Дефекты в кристалле: Френкеля и Шоттки.

5. Микрочастицы: фермионы и бозоны. Функция распределения. Плотность состояний для электронов в кристалле.

6. Функция распределения Ферми-Дирака. Физический смысл энергии Ферми для металла.

7. Функция распределения Максвелла-Больцмана.

8. Функция распределения Бозе-Эйнштейна.

9. Собственные полупроводники: зонная диаграмма, энергия Ферми EF, равновесная концентрация носителей заряда n0. Закон действующих масс.

10. Дырки в полупроводниках. Эффективная масса.

11. Прямозонные и непрямозонные полупроводники.

12. Донорные полупроводники (n-тип): зонная диаграмма.

13. Акцепторные полупроводники (p-тип): зонная диаграмма.

14. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в примесном полупроводнике.

15. Дрейф носителей заряда. Подвижность. Время релаксации. Длина свободного пробега .

16. Удельная электропроводность. Электропроводность чистых металлов.

17. Собственная проводимость полупроводников.

18. Примесная проводимость полупроводников.

19. Работа выхода. Контакт двух металлов.

20. Контакт металла с полупроводником: зонные диаграммы для стационарного состояния, прямого и обратного включения; контактная разность потенциалов, ширина обедненной области; вольт-амперная характеристика.

21. Контакт двух полупроводников (p-n-переход): зонные диаграммы для стационарного состояния, прямого и обратного включения; контактная разность потенциалов, ширина обедненной области; вольт-амперная характеристика.

22. Нормальные колебания линейной кристаллической решетки из одинаковых атомов: дисперсионная зависимость.

23. Нормальные колебания линейной кристаллической решетки с базисом из двух атомов: дисперсионная зависимость.

24. Функция распределения нормальных колебаний. Характеристическая частота и температура Дебая.

25. Фононы. Энергия кристаллической решетки твердого тела. Теплоемкость твердого тела.

Материалы для оценивания умений и навыков:

- контрольные вопросы и задачи для практических занятий:

1. Плоскость отсекает на осях координат отрезки S_1=0,5, S_2=1,25, S_3=1,5 в единицах ребер элементарной ячейки. Определить индексы Миллера этой плоскости.

2. Найти индексы Миллера плоскости, проходящей через узловые точки кристаллической решетки с координатами x_1=9, x_2=10, x_3=30, если параметры решетки a=3, b=5, c=6.

3. Рассчитать с помощью индексов Миллера расстояния между соседними кристаллическими плоскостями (100), (110), (111) для примитивной кубической ячейки

4. Пусть a – длина ребра основного куба гранецентрированной кубической решетки. Каково расстояние a_0 между ближайшими атомами в ГЦК-решетке?

5. Пусть a – длина ребра основного куба объемоцентрированной кубической решетки. Каково расстояние a_0 между ближайшими атомами в ОЦК-решетке?

6. Определить число атомов n_0 в элементарной ячейке железа, кристаллизующегося в кубической системе. Ребро куба a=0,286 нм, атомный вес железа A=55,84 г/моль, плотность ρ=7,8·10^3 кг/м^3.

7. Найти векторы обратной решетки a_1^*, a_2^*, a_3^* для кристаллической решетки с базисными векторами a_1=1, a_2=1, a_3=2.

8. Расстояние d между атомными плоскостями в кристалле поваренной соли равно 0,281 нм. При каком максимальном угле падения будет наблюдаться усиление отраженных рентгеновских лучей с длиной волны λ=0,1 нм? Порядок отражения n=1.

9. Найти постоянную решетки d (расстояние между ближайшими атомными плоскостями) каменной соли *NaCl*. Плотность $\rho=2{,}2\cdot10^3$ кг/м^3.

10. Определить температуру Дебая $\theta_Д$ материала, в котором максимальная частота колебаний составляет 10^{13} с$^{-1}$.

11. Построить функцию плотности состояний электронов $g(E)$ в материале объемом 1 см^3 в диапазоне энергий 0 – 3 эВ с шагом 0,5 эВ. Постоянная Планка $h=6{,}63\cdot10^{-34}$ Дж·с, заряд электрона $e=1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл, масса электрона $m=9{,}1\cdot10^{-31}$ кг.

12. Вычислить энергию Ферми E_F валентных электронов натрия при температуре T=0 K, отсчитанную от дна зоны проводимости. Плотность натрия $\rho=0{,}97\cdot10^3$ кг/м^3, молярная масса натрия $M=23\cdot10^3$ кг/моль, постоянная Авогадро $N_A=6{,}02\cdot10^{23}$ ед./моль.

13. Вычислить концентрации электронов n в литии, меди и серебре при температуре T=0 K. Энергии Ферми металлов равны: $E_F(Li)$=4,72 эВ, $E_F(Cu)$=7,11 эВ, $E_F(Ag)$=5,49 эВ.

14. Определить энергию Ферми в германиевом собственном полупроводнике при температуре T=300 K. Ширина запрещенной зоны E_g=0,67 эВ. Эффективная масса электронов $m_e^*=0{,}56m_e$ и эффективная масса дырок $m_h^*=0{,}59m_e$ (m_e – масса свободного электрона).

15. Вычислить энергию Ферми в германиевом примесном полупроводнике, отсчитанную от дна зоны проводимости, при температуре T=20 K. Германий легирован акцепторной примесью In с концентрацией $N_a=10^{23}$ м$^{-3}$. Ширина запрещенной зоны при этой температуре равна E_g=0,75 эВ. Энергия активации E_a=0,011 эВ.

16. Вычислить энергию Ферми в германиевом примесном полупроводнике , отсчитанную от дна зоны проводимости, при температуре T=20 K. Германий легирован донорной примесью Sb с концентрацией $N_d=10^{23}$ м$^{-3}$. Ширина запрещенной зоны при этой температуре равна E_g=0,75 эВ.

17. Вычислить энергию Ферми в германиевом примесном полупроводнике , отсчитанную от дна зоны проводимости, при температуре T=20 K. Германий легирован донорной примесью As с концентрацией $N_d=10^{23}$ м$^{-3}$ и акцепторной примесью Ga с концентрацией $N_a=5\cdot10^{22}$ м$^{-3}$.

18. Вычислить среднюю дрейфовую скорость движения электронов $v_{др}$ в медном проводнике длиной l=1 м, если к нему приложена разность потенциалов U=10 В. Удельное сопротивление меди $\rho=1{,}6\cdot10^{-8}$ Ом·м. Концентрация носителей заряда $n_e=10^{28}$ м$^{-3}$.

19. Вычислить длину свободного пробега электронов в полупроводнике в сильном электрическом поле. Критическая напряженность поля $E_k=2\cdot10^4$ В/см. Температура 20 °С.

20. Электропроводность натрия равна $\sigma=2{,}17\cdot10^7$ Ом$^{-1}$·м$^{-1}$. Эффективная масса электрона $m^*=1{,}2m_e$. Вычислить: а) время релаксации τ при T=300 K; б) среднюю длину свободного пробега λ при T=300 K; в) дрейфовую скорость $v_{др}$ в поле E=100 В/м.

21. Удельное сопротивление собственного германия при комнатной температуре равно ρ_0=47 Ом·см, подвижность электронов μ_e=3900 см^2/(В·с), подвижность дырок μ_h=1900 см^2/(В·с). Найти концентрацию n_0 собственных носителей заряда. Какую нужно ввести концентрацию доноров, чтобы удельное сопротивление полупроводника снизилось до величины ρ=20 Ом·см?

22. Электронная подвижность при T=300 K в полупроводнике InSb составляет μ_e=6700 см^2/(В·с), подвижность дырок μ_h=670 см^2/(В·с). Ширина запрещенной зоны E_g=0,17 эВ. Чему равна электропроводность беспримесного полупроводника? Эффективная масса электронов m^*_e=0,015m_e, дырок m^*_h=0,18m_e.

23. Образец полупроводника имеет ширину a=6 мм. В образце, помещенном в магнитное поле индукцией B=0,5 Тл перпендикулярно плоскости пластины, возникает холловское напряжение U=5мВ при токе через образец I=10 мА. Полупроводник примесный n-типа. Определить концентрацию носителей заряда.

24. Какова работа выхода из металла, если при повышении температуры этого металла от T_1=2000 K до T_2=2001 K ток насыщения увеличивается на 1%?

25. Определите напряженность электрического поля E в зазоре между металлом и полупроводником, если работа выхода из металла $A_{вых\text{-}м}$=5,3 эВ, а из полупроводника – $A_{вых\text{-}п}$=6,2 эВ. Толщина зазора d=50 мкм.

26. Пусть два металла приведены в контакт так, что по всей поверхности контакта они отстоят друг от друга на величину одного периода решетки. Параметры решетки равны d=0,2 нм. Контактная разность потенциалов $\Delta\varphi$=1 В. Чему равно количество электронов, перетекших из одного металла в другой через площадку S=1 м^2? Найти процентное изменение α плотности электронов одного из металлов, полагая, что металлы одновалентны.

27. Определить ширину обедненной электронами области d на контакте «металл-полупроводник n-типа». Концентрация донорных примесей $N_Д$=10^{17} см$^{-3}$. Контактная разность потенциалов $\Delta\varphi$=1 В. Диэлектрическая проницаемость полупроводника ε=10.

28. Определить контактную разность потенциалов, возникшую при контакте полупроводников p- и n-типа. Концентрации соответствующих примесей в обоих полупроводниках одинаковы и равны $N_Д$=$N_А$=10^{17} см$^{-3}$. Для собственного германия при комнатной температуре концентрация носителей заряда одного знака, например, электронов, в зоне проводимости равна n_0=2,37·10^{13} см$^{-3}$.

29. Определить ширину симметричного p-n-перехода d , если контактная разность потенциалов равна $\Delta\varphi$=1 В. Концентрации донорных и акцепторных примесей одинаковы $N_Д$=$N_А$=10^{17} см$^{-3}$. Диэлектрическая проницаемость полупроводника ε=10.

Как изменится ширина p-n-перехода d, если к нему приложить внешнее напряжение V=0,3 В в прямом и обратном направлениях? Контактная разность потенциалов $\Delta\varphi$=1 В. Концентрации донорных и акцепторных примесей одинаковы $N_Д$=$N_А$=10^{17} см$^{-3}$.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Лекционные занятия проводятся в аудитории 305 учебно-библиотечного корпуса, средствами визуализации текстовых и графических материалов.

Практические занятия проводятся в аудитории 17к главного корпуса, оснащенных персональными компьютерами и средствами визуализации текстовых и графических материалов.

Аудитория 17к оснащена персональными компьютерами, объединенными в локальную сеть с выходом в Интернет. В процессе обучения используются современные программно-методические комплексы для решения задач в области электроники и наноэлектроники и натурные образцы электронной техники.

При использовании электронных изданий каждый обучающийся во время самостоятельной подготовки обеспечен рабочим местом в компьютерном классе с выходом в Интернет в соответствии с объемом изучаемой дисциплины. Время доступа в Интернет с рабочих мест вуза для внеаудиторной работы составляет для каждого студента не менее двух часов в неделю.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Основная учебная литература

1. Делоне Н.Б. Основы физики конденсированного вещества: учебное пособие [Электронный ресурс]. – М.: Физматлит, 2011. – 234 с. Доступ http://www.knigafund.ru.
2. Геринг Г.И., Панова Т.В. Физика конденсированного состояния вещества: учебное пособие [Электронный ресурс]. – Омск.: Изд-во Ом. гос. ун-та, 2008. – 106 с. Доступ http://www.knigafund.ru.

Дополнительная учебная литература

Учебные издания

3. Туманов Ю.Н., Плазменные, высокочастотные, микроволновые и лазерные технологии в химико-металлургических процессах [Электронный ресурс]. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 968 с. доступ http://www.knigafund.ru.
4. Барыбин А.А. Физико-технологические макро-, микро- и наноэлектроники [Электронный ресурс]. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. –784 с. доступhttp://www.knigafund.ru.
5. Рощин В.М., Технология материалов микро-, опто- и наноэлектроники [Электронный ресурс]: учебное пособие. Ч. 2./ В.М. Рощин, М.В. Силибин. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010 г. – 180 с., доступ http://www. e.lanbook.com
6. Раскин А.А., Технология материалов микро-, опто- и наноэлектроники [Электронный ресурс]: учебное пособие. Ч. 1. / А.А. Раскин, В.К. Прокофьева. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015 г. – 167 с., доступ http://www.e.lanbook.com.
7. Гуртов В. А. Твердотельная электроника : учеб. пособие для вузов / В. А. Гуртов. - 2-е изд., доп.. - М. : Техносфера, 2005. – 408 с.

Официальные издания

ИС ТЕХЭКСПЕРТ http://195.209.112.161:3000/

8. ГОСТ 25948-83 Арсенид галлия и фосфид галлия монокристаллические. Измерение удельного электрического сопротивления и коэффициента Холла.

Методические указания и материалы по видам занятий

- к лабораторным занятиям: [1, 2, 3, 11, 12, 13, 14, 15, 16]

9. Анфимов И.М., Кобелева С.П., Щемеров И.В. Физика конденсированного состояния. Электронная структура твердых тел. Лабораторный практикум: учебное пособие [Электронный ресурс] – М.: МИСИС, 2014. – 76 с. Режим доступа: http://e.lanbook.com.
10. Диденко И.С., Гераськин В.В. Кристаллофизика. Симметрия кристаллических многогранников. Лабораторный практикум: учебное пособие [Электронный ресурс] М.: МИСИС, 2011. – 76 с. Режим доступа: http://e.lanbook.com

- дидактические материалы

11. Наглядные пособия и стенды (расположенные в лабораториях)
12. Комплект вопросов для контроля знаний.

Интернет-ресурсы

13. http://www.elibrary.ru.
14. http://www.sciencedirect.com
15. http://www.scopus.com
16. http://www.portalnano.ru.
17. https://www.nanohub.org