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» [illegible] 2021

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Числовые системы»

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